

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7202

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS CENTROS POBLADOS SITABAMBA, CHAGAVARA, CHAGAPAMPA, PIJOBAMBA Y SECTOR CHILLÍN

Departamento La Libertad
Provincia Santiago de Chuco
Distrito Sitabamba



DICIEMBRE
2021

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

Equipo de investigación:

Julio Lara

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). *Evaluación de peligros geológicos en los centros poblados Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín. Distrito de Sitabamba, provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7202, 75 p.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 1 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 3 |
| 1.1. Objetivos del estudio | 3 |
| 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores..... | 4 |
| 1.3. Aspectos generales | 7 |
| 1.3.1. UBICACIÓN | 7 |
| 1.3.2. ACCESIBILIDAD..... | 7 |
| 1.3.3. CLIMA | 8 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 9 |
| 2.1. Unidades litoestratigráficas..... | 9 |
| 2.1.1. Granito neisificado del Maraón (Pali-n)..... | 9 |
| 2.1.3. Grupo Pucará (JTR-p)..... | 10 |
| 2.1.4. Formación Chicama (Js-ch)..... | 11 |
| 2.1.5. Formación Chimú (Ki-chi)..... | 12 |
| 2.1.6. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g) | 12 |
| 2.1.7. Formaciones Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo (Kis-pchp)..... | 12 |
| 2.1.8. Formación Crisnejas (Kis-cr) | 13 |
| 2.1.9. Formaciones Jumasha, Celendín (Kis-jc) | 13 |
| 2.1.10. Formación Chota (KsP-ch) | 14 |
| 2.1.11. Depósitos aluviales (Qh-al) | 15 |
| 2.1.12. Depósitos coluviales (Qh-co)..... | 15 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 16 |
| 3.1. Unidades geomorfológicas | 16 |
| 3.1.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional..... | 16 |
| 3.1.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional | 18 |
| 4. PELIGROS GEOLÓGICOS | 19 |
| 4.1. Peligros geológicos en el centro poblado de Sitabamba y quebradas aledañas (Ticapampa y La Laja)..... | 20 |
| 4.1.1. Factores condicionantes..... | 22 |
| 4.1.2. Factores desencadenantes | 22 |
| 4.1.3. Factores antrópicos..... | 22 |
| 4.2. Peligros geológicos en el sector de Chillín..... | 22 |
| 4.2.1. Factores condicionantes..... | 24 |

| | | |
|--------|---|----|
| 4.2.2. | Factores desencadenantes | 25 |
| 4.2.3. | Factores antrópicos..... | 25 |
| 4.3. | Peligros geológicos en el centro poblado Chagavara | 25 |
| 4.3.1. | Factores condicionantes..... | 29 |
| 4.3.2. | Factores desencadenantes | 29 |
| 4.3.3. | Factores antrópicos..... | 29 |
| 4.4. | Peligros geológicos en el centro poblado Chagapampa | 29 |
| 4.4.1. | Factores condicionantes..... | 32 |
| 4.4.2. | Factores desencadenantes | 32 |
| 4.4.3. | Factores antrópicos..... | 32 |
| 4.5. | Peligros geológicos en el centro poblado Pijobamba | 32 |
| 4.5.1. | Factores condicionantes..... | 35 |
| 4.5.2. | Factores desencadenantes | 35 |
| 4.5.3. | Factores antrópicos..... | 35 |
| 5. | CONCLUSIONES | 36 |
| 6. | RECOMENDACIONES..... | 40 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA..... | 43 |
| | ANEXO 1: MAPAS..... | 44 |
| | ANEXO 2: GLOSARIO..... | 51 |
| | ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN..... | 57 |

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos, realizada en los centros poblados Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín (distrito Sitabamba, provincia Santiago de Chuco, departamento La Libertad). Con este trabajo, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (Ingemmet), cumple con una de sus funciones, que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología para los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En las zonas evaluadas, el substrato rocoso está compuesto por rocas metamórficas (granitos neisificados) y secuencias sedimentarias de la Formación Jumasha (calizas y algunas dolomitas grises y amarillentas); margas, arcillitas calcáreas y calizas (Fm. Celendín) y arcillitas calcáreas, margas amarillentas y calizas (Fm. Crisnejas). Éstos se presentan medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados. Por lo cual condicionan los sectores con alta y muy alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa. Estas rocas están cubiertas por depósitos coluviales constituidos por gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz areno arcillosa, estos materiales son de fácil remoción ante la acción hídrica.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico degradacional y erosional, conformadas por montañas en roca metamórfica y volcánica, así como montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria. En las laderas se aprecian geoformas de origen depositacional y agradacional, conformadas por vertientes o piedemontes coluvio-deluviales.

Los peligros geológicos identificados, en los centros poblados evaluados, comprenden movimientos en masa de tipo: deslizamiento, reptación, flujo (flujos de detritos), movimiento complejo (derrumbe-flujo) y caída (caída de rocas y derrumbes); peligros geohidrológicos de tipo erosión fluvial y otros peligros geológicos como erosión de laderas (surcos y cárcavas).

Los principales factores condicionantes observados para estas ocurrencias, corresponden a la presencia de pendiente fuerte (15° a 25°) a muy fuerte del terreno (25° a 45°), que configuran laderas en montañas en rocas metamórficas y volcánicas, montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria. Mientras que el substrato rocoso fracturado y meteorizado al igual que los suelos inconsolidados que corresponden a depósitos coluviales, de fácil remoción por acción hídrica, son los principales condicionantes litológicos.

Entre los factores desencadenantes se tienen las precipitaciones pluviales; así como factores antrópicos como el inadecuado manejo del sistema de drenaje, caracterizado por la presencia de canales sin revestimiento que generan infiltración de las aguas de escorrentía; los cambios en la geometría original de la ladera, de cortes de carretera y deforestación o sobrepastoreo.

El centro poblado de Sitabamba es atravesado por la quebrada Río Chico, el cual en temporada de lluvias se reactiva generando flujos de detritos causando daños en viviendas. De igual forma se presentan quebradas aledañas a Sitabamba, como: Ticapampa, a 0.74 km y La Laja a 4.5 km, en las cuales se producen flujos de detritos que afectaron 60 y 150 m aproximadamente en dos tramos de acceso al poblado de Sitabamba, respectivamente.

En el sector Chillín, un movimiento complejo, tipo derrumbe-flujo de detritos, afectó 200 m aproximadamente de la carretera Sitabamba-Chillín-Huamachuco.

Por otro lado, tanto en Chagavara, Pijobamba y Chagapampa se presentan reptaciones de suelos, que han generado agrietamientos y asentamientos en los terrenos de hasta 1.5 m aproximadamente, afectando la institución educativa Mario Vargas Llosa 805959-Chagavara y Colegio 80591 Ciro Alegría Bazán en Pijobamba; en cuyos poblados además se presentan erosión fluvial con deslizamientos que afectaron 85 m aproximadamente de la carretera Chagavara-Sitabamba, terrenos de cultivo, losa deportiva de Chagapampa y puente que une Pijobamba y Bellavista.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, Sitabamba se considera de **Peligro alto** a la ocurrencia de flujos de detritos, derrumbes y deslizamientos, Chillín de **Peligro muy alto** a la ocurrencia de movimientos complejos y derrumbes, mientras que Chagavara y Chagapampa, de **Peligro alto** a la ocurrencia de reptación de suelos y deslizamientos. De igual modo, Pijobamba se considera de **Peligro muy alto** a la ocurrencia de reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes, que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se brindan recomendaciones que deben ser tomadas en cuenta por las autoridades competentes, las cuales consisten principalmente en: realizar labores de limpieza y encausamiento de la quebrada Río Chico, la cual atraviesa la zona urbana de Sitabamba; realizar labores de limpieza de material caído y desquinche de bloques inestables y/o desprendidos en el sector de Chillín; mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales en el centro poblado Chagavara a fin de evacuar las aguas superficiales, entre otras.

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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Gerencia regional de Defensa Civil-Región La Libertad, según oficio N° 940-2019-GRLL-GOB-GGR-GRDN/SGDC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación y caracterización de peligros de deslizamiento, flujo, reptación, movimiento complejo, derrumbe, caída de rocas y erosión de laderas, que afectan a la población, viviendas y vías de acceso de los centros poblados de Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín, localizados en el distrito Sitabamba, provincia Santiago de Chuco, departamento La Libertad.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designa a los especialistas Julio Lara y Luis Araujo, realizar la evaluación técnica respectiva.

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), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración del Gobierno Regional de La Libertad, la Municipalidad Distrital de Sitabamba, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres-CENEPRED y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), donde se proporcionan resultados de la inspección 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 que se presentan en los poblados de Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín, en el distrito de Sitabamba, provincia de Santiago de Chuco, departamento La Libertad, los cuales comprometen la seguridad física de las poblaciones, infraestructuras y medios de vida.
- b) Determinar las causas de origen (factores condicionantes) que determinan la ocurrencia de los peligros geológicos identificados.
- c) Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que hacen referencia a estudios e investigaciones geológicas y geodinámicas en el distrito de Sitabamba, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 50, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Riesgo Geológico en la Región La Libertad” (2012). En este boletín se identifica la ocurrencia de 2653 peligros geológicos y geohidrológicos, de los cuales 899 han sido comprobados en trabajos de campo, mientras que los 1754 restantes por interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales. La mayor cantidad de ocurrencias corresponde a movimientos en masa (caídas, deslizamientos, flujos, movimientos complejos y reptación de suelos) con 87 %, seguidos por el grupo de otros peligros geológicos (arenamiento, erosión de ladera y erosión marina) con 11 % y finalmente los peligros geohidrológicos (inundación y erosión fluvial) con 2 %.

De igual manera, se cuenta con un mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1: 250 000 (Medina et al., 2012), sobre el cual las zonas evaluadas presentan áreas de susceptibilidad Moderada, Alta y Muy Alta (figura 1); entendiéndose susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos (cuadro 1).

- B) Informe técnico: “Zonas críticas en la región La Libertad” (2008). En este informe, se determinan a nivel regional un total de 82 zonas críticas, la mayor cantidad ubicadas en la provincia de Otuzco (19) seguido por las provincias de Chepén (11), Sánchez Carrión (11), Pataz (10), Virú (7), Gran Chimú (6), Santiago de Chuco (5), y otras provincias (7). Cabe mencionar, que las zonas críticas, son áreas o lugares, que luego de la evaluación de las características geológicas-geotécnicas, tipo, frecuencia, daños producidos y presencia de elementos altamente expuestos, se consideran más proclives a ser afectadas, por consiguiente se necesitan tomar acciones en el marco de la gestión del riesgo de desastres.
- C) Boletín N° 60, serie A, carta geológica nacional: “Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari”, Hojas; 17-h, 17-i, 18-h, 19-g, 19-i (1995). En este boletín se muestran y describen las características litológicas y estructurales de las unidades litoestratigráficas identificadas en la zona de estudio y alrededores, que corresponden a substratos metamórficos de Granito neisificado del Marañón; Complejo del Marañón; los grupos Ambo, Mitu, y sedimentarios mesozoicos de los grupos Pucará y Goyllarisquizga; formaciones Chicama, Chimú, Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo, Crisnejas, Jumasha, Celendín y Chota; cubiertos por depósitos Cuaternarios (aluviales).

Cuadro 1. Grados de susceptibilidad a los movimientos en masa.

| SUSCEPTIBILIDAD | CARACTERÍSTICAS | RECOMENDACIONES |
|-----------------|--|---|
| MUY ALTA | <p>Zonas en donde todas las condiciones intrínsecas del terreno son muy favorables para generar movimientos en masa. Se concentra principalmente donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes, ya sea como deslizamientos, derrumbes o movimientos complejos (Medina et al., 2012).</p> <p>Están concentradas donde el substrato rocoso es de mala calidad, es decir rocas sedimentarias clásticas (areniscas, cuarcitas, lutitas, lutitas carbonosas) y depósitos de vertiente (coluvio-deluviales), morfologías de laderas de montañas de moderada a muy fuerte pendiente (entre 25° a mayores de 45°).</p> <p>En dichas zonas, es muy probable que ocurran movimientos en masa. Corresponden a zonas de pendientes fuertes a muy fuertes y afloramientos rocosos intensamente fracturados, meteorizados y potencialmente almacenadores de agua. Las zonas de mayor susceptibilidad se encuentran en ambas márgenes de los ríos San Sebastián, Cajas, Cajón, Marañón; cuencas media y altas del Río Chicama; cuenca media de los ríos Moche, Virú, Chao y Santa.</p> | <p>En lo posible evitar el desarrollo de todo tipo de infraestructura</p> |
| ALTA | <p>Son zonas donde confluye la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa cuando se modifican sus taludes. Generalmente, el sustrato rocoso está compuesto de areniscas, conglomerados, limolitas y arcillitas, escasas zonas con esquistos y pizarras, limoarcillitas y carbón, rocas intrusivas alteradas de la Cordillera Occidental, montañas con laderas de moderada a suave pendiente, laderas estructurales, y lomadas muy disectadas. Los terrenos presentan pendientes que varían entre 15° y 25°, y en algunos casos hasta 45°, así como piedemontes de valle, acumulaciones de depósitos glaciofluviales, morrenas y detritos de vertiente indiferenciados.</p> <p>Dichas zonas se encuentran ampliamente distribuidas en la cuenca alta del río Alto Huallaga (río Mishollo), y en cuenca alta y media de los ríos San Sebastián, Chamán, Jequetepeque, Chicama, Moche, Virú, Chao y Santa Crisnejas. Son áreas donde la mayoría de las condiciones del terreno son favorables para generar movimientos en masa y cuando se modifican sus taludes.</p> | <p>Se sugiere restringir el desarrollo de infraestructura urbana o de instalaciones destinadas a una alta concentración de personas. En el caso de proyectos de infraestructura vial, líneas de energía, minera, etc., se deberán realizar estudios geológico-geotécnicos de detalle.</p> |

| | | |
|------------------------|---|--|
| <p>MODERADA</p> | <p>Zonas donde se presentan algunas condiciones favorables para generar movimientos en masa. Incluyen geoformas de colinas estructurales, lomadas, abanicos y mesetas volcánicas. La pendiente de los terrenos varía entre 5° y 25°. Son zonas donde el terreno presenta ciertas condiciones para generar movimientos en masa y están asociadas a pendientes moderadas.</p> <p>Se encuentran distribuidas principalmente en la cuenca alta de los ríos Moche, Virú, Chao, Santa, en la cuenca media y alta del San Sebastián y en los alrededores de los poblados de Chugay, Marcabal, Huamachuco, Quiruvilca, Caramarca y Santiago de Chuco.</p> | <p>Permite el desarrollo de infraestructura urbana e industrial siempre y cuando se conozcan, en forma detallada, las propiedades de los terrenos, con la finalidad de poder tomar decisiones respecto a la viabilidad del proyecto.</p> |
|------------------------|---|--|

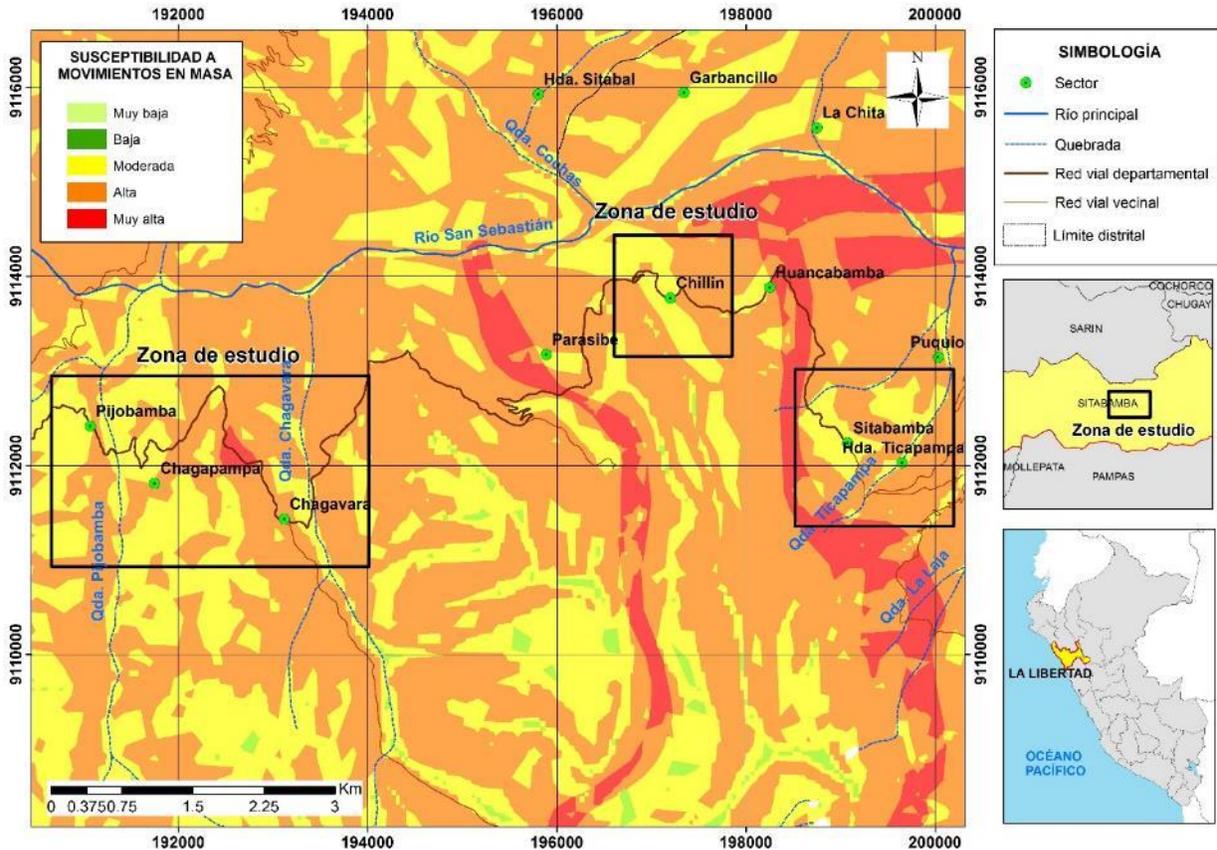


Figura 1. Susceptibilidad por movimientos en masa de las zonas de estudio y alrededores (Medina *et al.*, 2012).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

Los centros poblados Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín, geopolíticamente pertenecen al distrito de Sitabamba, provincia Santiago de Chuco, departamento La Libertad (figura 2).

En el cuadro 2 se detallan las coordenadas UTM (WGS84 - Zona 18S) de localización de los centros poblados y sector evaluados.

Cuadro 2. Coordenadas del área de estudio.

| N° | Centro poblado y/o sector | UTM - WGS84 - Zona 18S | | Geográficas | |
|----|---------------------------|------------------------|---------|-------------|----------|
| | | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | Sitabamba | 199083 | 9112240 | -8.02° | -77.73° |
| 2 | Chillín | 197214 | 9113784 | -8.00° | -77.75° |
| 3 | Chagavara | 193107 | 9111438 | -8.03° | -77.78° |
| 4 | Chagapampa | 191756 | 9111782 | -8.02° | -77.79° |
| 5 | Pijobamba | 191083 | 9112451 | -8.01° | -77.80° |

1.3.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad se realizó por vía terrestre, desde la ciudad de Lima, siguiendo la ruta mostrada en el cuadro 3.

Cuadro 3. Rutas y accesos a la zona evaluada.

| Ruta | Tipo de vía | Distancia (km) | Tiempo estimado |
|------------------------|----------------------|----------------|-----------------|
| Lima - Chimbote | Asfaltada | 427.4 | 6h y 13min |
| Chimbote - Tayabamba | Asfaltada | 371.3 | 9h y 44min |
| Tayabamba - Huaylillas | Asfaltada | 16.4 | 34min |
| Huaylillas - Sitabamba | Asfaltada y Afirmada | 321 | 11h y 6min |

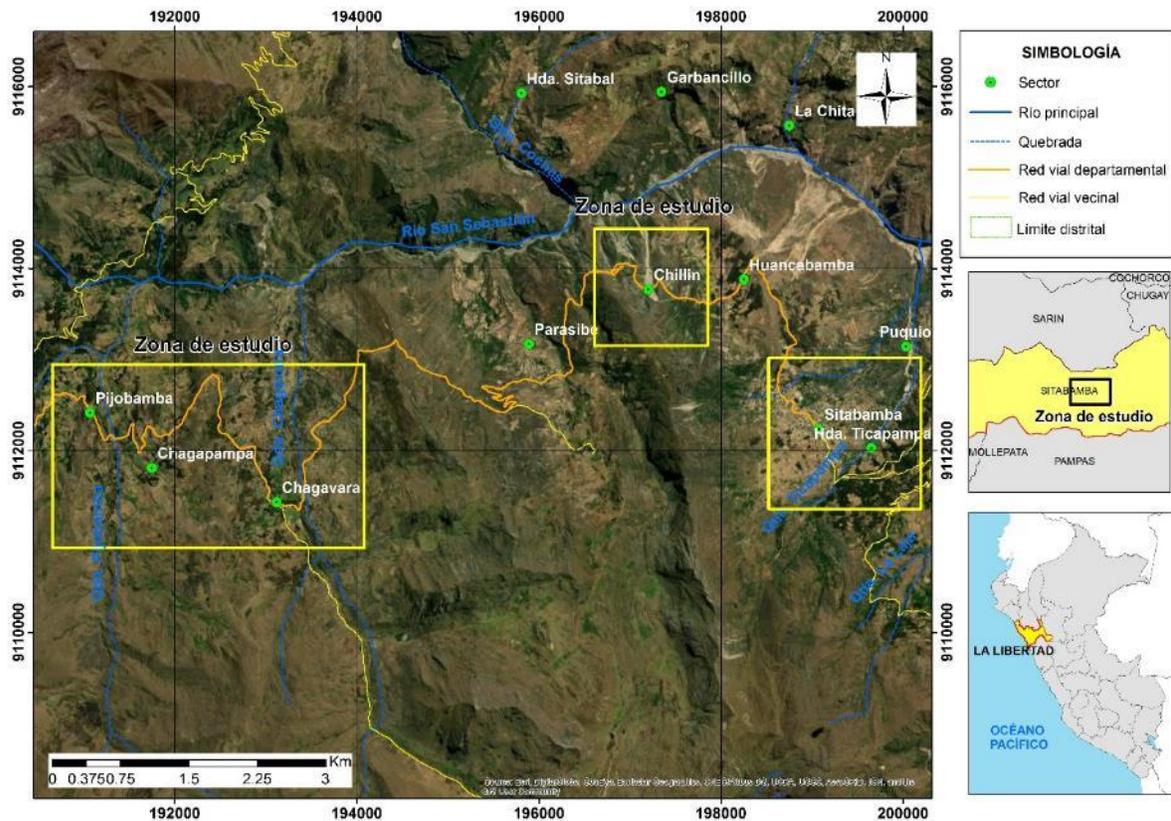


Figura 2. Ubicación de los centros poblados de Sitabamba, Chagavara, Chagapampa y Pijobamba y sector Chillín (distrito Sitabamba, provincia Santiago de Chuco, departamento La Libertad).

1.3.3. CLIMA

De acuerdo al Mapa de Clasificación Climática del Perú elaborado por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, localmente, el distrito de Sitabamba presenta un clima lluvioso con carácter frío, templado y hasta cálido, con precipitaciones abundantes durante el verano y con ausencia de las mismas en las otras estaciones (Senamhi, 2020).

La precipitación promedio más baja ocurre en el mes de julio, con un promedio de 25 mm. Mientras que en marzo, se da la mayor cantidad de precipitación, con un promedio de 210 mm (Fuente: Climate-data.org).

El mes más caluroso del año es noviembre con una temperatura media de 12.4 °C. Mientras que el mes de julio presenta la temperatura media más bajas del año con alrededor de 10.8 °C.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico y determinación de las unidades litológicas características del área de estudio, se elaboró teniendo como base la carta geológica del Boletín N° 60: “Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari” (Wilson *et al.*, 1995) , así como la actualización del “Mapa geológico del cuadrángulo de Pallasca” (Hoja 17h1) a escala 1: 50 000, donde se señalan principalmente unidades litoestratigráficas como el Granito neisificado del Marañón; el Complejo del Marañón; los grupos Ambo, Mitu, Pucará y Goyllarisquizga; las formaciones Chicama, Chimú, Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo, Crisnejas, Jumasha, Celendín y Chota; así como depósitos Cuaternarios. Además, complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes corresponden a afloramientos rocosos metamórficas, sedimentarias y depósitos Cuaternarios, que han sido acumulados desde el Neoproterozoico hasta la actualidad (figura 3). Localmente se han identificado las siguientes unidades:

2.1.1. Granito neisificado del Marañón (Pali-n)

En el valle del río Marañón, aflora un batolito con neisificación acentuada que evidencia su gran antigüedad. Consiste de ortosa rosada con un 10% de cuarzo y pequeñas cantidades de hornablenda, cambiando el grado de foliación en varios sectores, estando mejor neisificado cerca a sus contactos.

Sus relaciones geológicas son las siguientes: penetra al Complejo del Marañón, observable en la Hda. Huascarbamba (Pomabamba), y está cubierto en discordancia por el Gpo. Mitu (Pérmico superior). Asimismo, la foliación ocurrió antes de la depositación del Gpo. Ambo (Missisipiano), ya que éste no la presenta, indicando una orogénesis que ocurrió en el Paleozoico inferior (Plutones Eohercinianos).

Este batolito, posiblemente se emplazó entre el Ordovícico y Silúrico. Posee una gran extensión aflorando en los cuadrángulos de Tayabamba y Pomabamba; sus límites todavía no han sido fijados con exactitud.

Se aprecian específicamente en la quebrada Ticapampa, presentes como afloramientos de granitos neisificados, medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados (fotografía 1).



Fotografía 1. Afloramientos de granito neisificado en la carretera de acceso a Sitabamba (margen derecha de la quebrada Ticapampa).

2.1.2. Complejo del Marañón (Pe-ma)

Consiste en una secuencia de rocas metamórficas que afloran en la Cordillera Oriental, hacia las partes más occidentales (parte baja del Valle del Marañón).

Litológicamente consiste de esquistos micáceos y cloritosos, grises y verdosos cortados por abundantes vetas de cuarzo lechoso. El resto que aflora en la Cordillera Oriental, son pizarras y filitas grisáceas. También se pueden encontrar pequeños intrusivos subvolcánicos, con fase de serpentinización, al norte de Pallasca y noroeste de Acobamba (Wilson *et al.*, 1995).

2.1.3. Grupo Pucará (JTR-p)

El Grupo Pucará, está compuesto de calizas y niveles de chert que afloran en el sector Oriental, generalmente en la margen derecha del río Marañón. Suprayace en discordancia angular o erosional a las unidades ya descritas. El contacto superior con el Grupo Goyllarisquiza, varía de una discordancia ligera a una discordancia angular, en el valle del río Cajas y en los alrededores de Huaylillas (Tayabamba).

Este Grupo alcanza un grosor máximo de 300 m. al oeste de Buldibuyo (Tayabamba) y al norte de San Buenaventura (Pomabamba), siendo los grosores menores en su mayor parte debido a la erosión pre-Goyllarisquiza que afectó la zona de estudio (Wilson *et al.*, 1995).

2.1.4. Formación Chicama (Js-ch)

Consiste en grosores considerables de lutitas y areniscas finas, que afloran en gran parte de los sectores de Pallasca, Pomabamba, Corongo y Huari. No hay afloramiento de la base, pero se supone discordante sobre el Gpo. Pucará y formaciones más antiguas. Infrayace en discordancia paralela a la Fm. Oyón (Wilson *et al.*, 1995).

La dificultad de medir el grosor verdadero, es debido a sus complicadas estructuras, así como los sobreescurremientos; aunque se estima grosores entre 800 m a 1000 m.

Se considera que estos afloramientos extensos, son producto de factores estructurales, considerando la tectónica del área. Se piensa en sobreescurremientos intraformacionales, que aparentemente sugerirían un gran espesor.

En la zona de estudio, específicamente en el centro poblado Pijobamba, se identificaron intercalaciones de lutitas y areniscas finas, las cuales se encontraban medianamente a muy fracturadas y moderadamente a altamente meteorizadas (calidad geotécnica regular a mala) (fotografía 2).



Fotografía 2. Substrato rocoso base en el centro poblado Pijobamba, conformado por intercalaciones de lutitas y areniscas finas, medianamente a muy fracturadas y moderadamente a altamente meteorizadas.

2.1.5. Formación Chimú (Ki-chi)

Esta formación está conformada por centenares de metros de cuarcitas, areniscas y arcillitas, con mantos de carbón (antracita), sobreyaciendo a la Formación Oyón e infrayaciendo a la Formación Santa, con ligera discordancia (Wilson *et al.*, 1995).

El grosor variable, es de 150-400 m. y esencialmente, comprende dos miembros: el inferior, consiste en areniscas y cuarcitas con intercalaciones de arcillitas, con presencia de mantos de carbón; el miembro superior, está compuesto de capas macizas de cuarcitas blancas-grisáceas, con escasas capas de arcillitas.

Hacia el miembro inferior, se ha ubicado mantos de antracita con cateos de hasta 3 km. de longitud a lo largo del rumbo, con un grosor aproximado de 2 m (Oeste de Caraz).

El miembro superior, representa las unidades más prominentes, en cuanto a su expresión topográfica, representado entre 100 m y 300 m. de cuarcitas blancas conteniendo en muchos casos, carbón antracítico hacia la base, explotado entre Sihuas y Conchucos y en el Alto del Cóndor (Pallasca), con grosores de 1 m o más.

2.1.6. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

El Grupo Goyllarisquizga consiste de areniscas de grano grueso a conglomerádico, con intercalaciones de arcillitas rojizas, marrones, grises y verdosas; las areniscas conglomerádicas, se presentan en la base de la secuencia. Estas unidades sobreyacen a todas las anteriores en discordancia angular (Wilson *et al.*, 1995).

La superficie de erosión debajo de este grupo tiene cierto relieve apreciable en el sur del río Cajas, frente a la Hda. Bambas, donde las areniscas cretáceas entierran una topografía ondulada desarrollada en el Grupo Pucará. Asimismo, en la Hda. Huascarbamba (Pomabamba), donde las calizas están como bloques sobreyaciendo al Complejo del Marañón y mostrando las características de una topografía antigua, desenterrada por erosión del Grupo Goyllarisquizga. Mientras que el contacto superior con la Formación Crisnejas, es de tipo erosional.

2.1.7. Formaciones Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo (Kis-pchp)

La Formación Pariahuanca consiste en calizas macizas de unos 100 m de grosor, con sección típica ubicada cerca al pueblo del mismo nombre, en el cuadrángulo de Carhuaz. Suprayace a la Fm. Farrat y suprayace a las margas de la Fm. Chúlec. Hacia el norte del Callejón de Huaylas, cambia de facies a secuencias elásticas, denominándose Fm. Inca (Mollebamba). Esta formación, también cambia al este con aumento de arcillitas y margas, de tal manera que la unidad cambia lateralmente a la Fm. Chúlec.

La Formación Chúlec aflora ampliamente a lo largo de la Cordillera Occidental del norte y centro del país. En la zona de estudio, suprayacen a la Fm. Pariahuanca e infrayacen a la Fm. Pariatambo en forma concordante. Caracterizan a la Fm. Chúlec, capas medianas a delgadas de calizas, margas y arcillitas calcáreas, con una gran abundancia de fauna fósil. El grosor varía entre 100-250 m. en el sector Oriental, pero generalmente no pasa los 50 m en el valle del Santa (Wilson *et al.*, 1995).

La Formación Pariatambo consiste de aproximadamente 100 m de margas y arcillitas negras, con intercalaciones de calizas. Suprayace a la Formación Chúlec e infrayace a la Formación Jumasha, ambos contactos son concordantes. En la Cordillera Oriental, por cambio de facies lateral y adelgazamiento, no es diferenciable; se le ha cartografiado junto con la Formación Chúlec, denominándosele Formación Crisnejas. Esta formación mantiene una litología constante a lo largo de todo su afloramiento de margas, arcillitas y calizas, con algunos derrames volcánicos de litología basáltica aflorante al oeste de Llamellín (Huari).

2.1.8. Formación Crisnejas (Kis-cr)

La Formación Crisnejas consiste predominantemente en secuencias de arcillitas calcáreas y margas amarillentas, con intercalaciones delgadas de calizas, aflorantes en el sector del valle del Marañón. Esta formación resulta de la unión hacia el este de las zonas más periféricas de las formaciones Chúlec y Pariatambo (Wilson *et al.*, 1995).

Suprayace en discordancia al Grupo Goyllarisquizga e infrayace a la Formación Jumasha en contacto discordante. Su grosor varía entre 150 m y 300 m. Consiste predominantemente en arcillitas calcáreas y margas amarillentas, con intercalaciones delgadas de calizas.

2.1.9. Formaciones Jumasha, Celendín (Kis-jc)

La Formación Jumasha consiste de calizas y algunas dolomitas grises y amarillentas, de grano fino a medio, en capas medianas a gruesas. Alcanzan grosores de 100 a 800 m. Suprayace a las formaciones albianas Pariatambo y Crisnejas en concordancia o discordancia paralela, e infrayace a las margas de la Fm. Celendín en relación concordante. Sus afloramientos son fácilmente reconocibles por su tono gris claro de meteorización y el marcado efecto topográfico que ejercen. Los conglomerados intraformacionales son comunes en esta formación, como se observa en los alrededores de Mirgas y Llamellín (Huari); algunos fragmentos pasan el metro de diámetro (Wilson *et al.*, 1995).

La Formación Celendín ha sido cartografiada junto a la Fm. Jumasha, por ser un poco difícil su separación individual. Consiste en margas, arcillitas calcáreas y calizas. Suprayace concordantemente a la Fm. Jumasha e infrayace en contacto gradacional a

la Fm. Chota. Presenta un adelgazamiento en Pomabamba; cerca de la Hda. Santa Clara presenta un grosor máximo de 500 m. (Benavides, 1956), en contraste con los afloramientos del valle del Marañón y Cordillera Oriental, en que sólo alcanza un grosor de 20 m a 100 m.

En el sector Chillín, se identificaron afloramientos de calizas que son fácilmente reconocibles por su tono gris claro de meteorización y el marcado control topográfico que generan. Estos afloramientos pertenecen a la Formación Jumasha y se encontraban medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, estas condiciones determinan que el substrato rocoso presente calidad geotécnica regular a mala y sea susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa (fotografía 3).



Fotografía 3. Calizas de la Formación Jumasha en el sector Chillín. Estos afloramientos se encontraban medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados.

2.1.10. Formación Chota (KsP-ch)

La Formación Chota consiste en algunos centenares de metros de areniscas, arcillitas y conglomerados rojos. El tope ha sido erosionado, mientras que las partes basales afloran en varios lugares; al SE de Tayabamba, sobreyace a unidades tan antiguas como el Complejo del Marañón, y a la Fm. Celendín, siendo este último contacto gradacional (Llamellín-Huari) (Wilson *et al.*, 1995).

Por otro lado, la llamada Fm. Rosa, aflorante en el cuadrángulo de Pataz, realmente es la Fm. Chota (Wilson J.; Reyes L., 1996).

El grosor expuesto, varía mucho debido a la erosión, alcanzando un aproximado de 600 m. en los alrededores de la Hda. Santa Clara (Pomabamba).

2.1.11. Depósitos aluviales (Qh-al)

Corresponden a depósitos del Cuaternario (Holoceno) que se encuentran distribuidos en las zonas de los valles fluviales como el valle formado por el río San Sebastián.

Litoestratigráficamente, los depósitos aluviales corresponden a acumulaciones de gravas, arenas y limos. Los clastos se caracterizan por ser redondeados a subredondeados y de composición polimíctica.

2.1.12. Depósitos coluviales (Qh-co)

Corresponden a depósitos recientes (Holoceno) que se encuentran distribuidos en los flancos de los valles.

En la zona de estudio, específicamente en el sector Chillín, se identificaron depósitos coluviales que corresponden a depósitos inconsolidados compuestos por bloques y cantos angulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, de permeabilidad media a alta y que presentan nula o poca compactación (fotografía 4).



Fotografía 4. Depósitos coluviales identificados en el sector Chillín que corresponden a movimientos complejos que afectaron la vía de acceso al distrito de Sitabamba.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, 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 (Vílchez et al., 2019).

3.1.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, superficies onduladas y lomadas.

3.1.1.1. Unidad de montañas

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel.

La cima de estas geoformas puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas presentan un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Subunidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm): Corresponde a geoformas conformadas por afloramientos de rocas metamórficas de tipo granitos neisificados, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente muy fuerte del terreno (25° a 45°).

Se identificaron estas geoformas en los alrededores de la zona urbana del centro poblado de Sitabamba (figura 3).

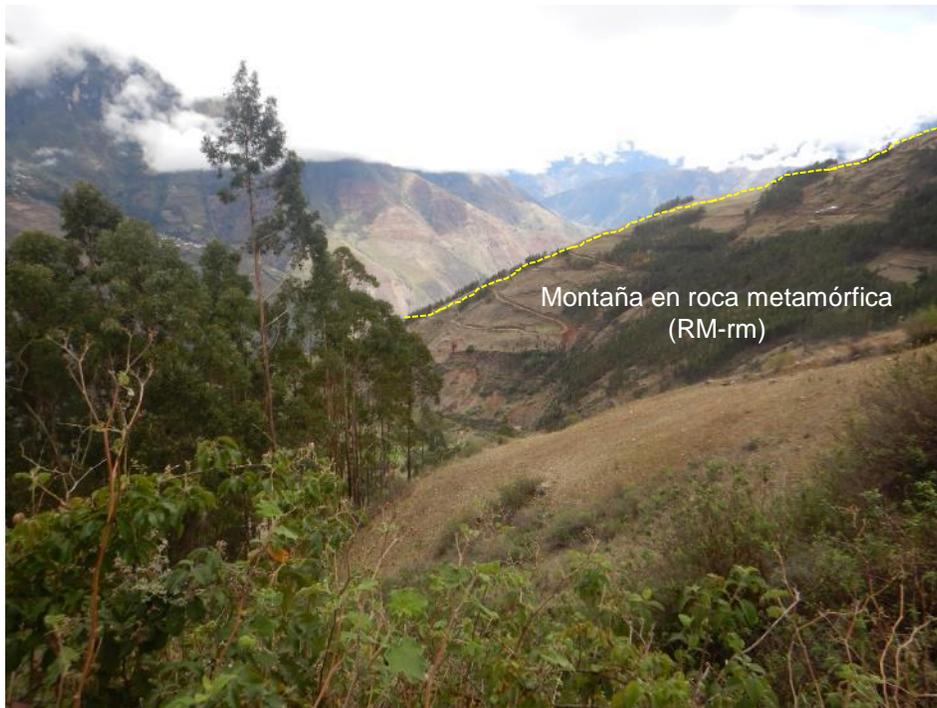


Figura 3. Subunidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm) conformada por afloramientos de granitos neisificados. Al noreste de la zona urbana del centro poblado de Sitabamba.

Subunidad de montaña en roca volcánica (RM-rv): Corresponde a geoformas conformadas por afloramientos de rocas volcánicas de tipo andesitas, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente fuerte del terreno (15° a 25°).

Se identificaron estas formas del relieve hacia el sur de la zona urbana del centro poblado de Sitabamba.

Subunidad de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs): Corresponde a geoformas conformadas por afloramientos de rocas sedimentarias de tipo calizas, areniscas, lutitas y conglomerados, reducidos por procesos denudativos y que se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendientes muy fuerte del terreno (25° a 45°).

Se identificaron estas formas del relieve en los alrededores de los poblados de Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín (figura 4).



Figura 4. Subunidad de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs) conformada por afloramientos de calizas, margas y arcillitas calcáreas. Estas geoformas se identificaron en el sector Chillín y los alrededores.

3.1.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados (Villota, 2005).

3.1.2.1. Unidad de piedemontes

Los piedemontes corresponden a un conjunto de depósitos que conforman una superficie inclinada y disectada que se extiende al pie de sistemas montañosos y que ha sido formada por la depositación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas (Villota, 1991).

Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Esta subunidad corresponde a las acumulaciones de laderas originadas por procesos de movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas), así como también por la acumulación de material fino y detrítico, caídos o lavados por escorrentía superficial, los cuales se acumulan sucesivamente al pie de laderas.

Se identificaron estas geoformas en los alrededores de los poblados Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín. Cabe mencionar que el centro poblado de Sitabamba se asienta sobre este tipo de geoforma (figura 5).



Figura 5. Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) conformada por depósitos de deslizamientos antiguos. Sobre esta geoforma se asienta el centro poblado de Sitabamba.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en los centros poblados de Sitabamba, Chagavara, Chagapampa, Pijobamba y sector Chillín, corresponden a: movimientos en masa, de tipo deslizamiento, flujo, caída, reptación y movimiento complejo (PMA: GCA, 2007); peligros geohidrológicos de tipo erosión fluvial y otros peligros geológicos de tipo erosión de laderas (surcos y cárcavas). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en la Cordillera de los Andes por los ríos San Sebastián y Chivilca, así como las quebradas Ticapampa, Pijobamba, Chagavara, entre otras, 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.

Estos peligros geológicos tienen como causas, factores intrínsecos o condicionantes, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, suelo, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Mientras que los factores desencadenantes se

representan por eventos de precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales, así como sismicidad. También es importante considerar los factores antrópicos como el inadecuado manejo del drenaje, los cortes de laderas, entre otros.

4.1. Peligros geológicos en el centro poblado de Sitabamba y quebradas aledañas (Ticapampa y La Laja)

Los peligros geológicos comprenden movimientos en masa de tipo flujo (flujo de detritos), caída (derrumbe) y deslizamiento, así como los procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas.

Las viviendas en Sitabamba, se asientan sobre depósitos coluviales originados por deslizamientos antiguos que han modelado geformas de tipo vertiente o piedemonte coluvio-deluvial.

Asimismo, la zona urbana es surcada y cortada por la quebrada Río Chico, la cual en temporada de lluvias se reactiva generando daños en las viviendas, calles y plaza principal, como los daños registrados en el año 2019, según versión de autoridades y pobladores. A pesar de que la quebrada Río Chico, se encuentra canalizada en todo el tramo que atraviesa la zona urbana, la parte alta y baja, aún no posee esta medida, siendo estas zonas donde se producen mayores daños en las viviendas por desborde de la quebrada. Cabe mencionar que además en la parte alta de la quebrada Río Chico, se estrecha su cauce natural, debido al vertimiento de residuos sólidos y desmontes, que ante la presencia de lluvias son acarreados generando flujos (huaicos) y desbordes.

En la parte baja de la zona urbana del centro poblado de Sitabamba se identificaron derrumbes recientes que afectan terrenos de cultivo, localizados en la margen derecha de la quebrada Río Chico.

En la quebrada Ticapampa, a 0.74 km de Sitabamba, se identificaron flujos de detritos recientes que afectan 60 m aproximadamente de la vía de acceso a Sitabamba y el puente peatonal (fotografía 5). Según versiones de las autoridades y población local, estos eventos son recurrentes e intensificados con precipitaciones estacionales

Los flujos de detritos están conformados por clastos y bloques de diverso tamaño de hasta 1m de diámetro, de composición polimíctica (rocas volcánicas y sedimentarias), que colmatan el cauce de la quebrada; por lo cual se recomienda realizar la descolmatación y/o limpieza periódica del cauce.



Fotografía 5. Flujos de detritos (huaicos) en la quebrada Ticapampa que afectan la vía de acceso al centro poblado de Sitabamba (Coordenadas UTM WGS84: 202353E; 9113427 N).

En la quebrada La Laja, a 4.5 km aproximadamente de Sitabamba, también se identificaron flujos de detritos recientes que afectan 150 m aproximadamente de la vía de acceso a Sitabamba (fotografía 6). Cabe mencionar que en el cauce de la quebrada se han identificado clastos y bloques subangulosos a subredondeados que se encuentran relleno el cauce, por lo que se recomienda la descolmatación de dicho cauce.



Fotografía 6. Flujos de detritos en quebrada La Laja (UTM WGS84: 202344E; 9113473N).

4.1.1. Factores condicionantes

- Presencia de pendientes muy fuerte del terreno de 25° a 45°, que configuran montañas de roca metamórfica, así como montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.
- Intercalación de substratos rocosos incompetentes, conformados por areniscas de grano grueso a conglomerádico, con intercalaciones de arcillitas rojizas del Grupo Goyllarisquizga y granitos neisificados del Marañón. Estos últimos afloramientos se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, lo cual determina que presenten una calidad geotécnica regular a mala. Estos afloramientos son susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Presencia de suelos inconsolidados de depósitos coluviales compuestos por gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, que presentan una permeabilidad media a alta y una nula a poca compactación. Estos depósitos son de fácil remoción por acción hídrica.
- Presencia de filtraciones de agua de escorrentía que inestabilizan el terreno.
- Poca a escasa cobertura vegetal, retirada por deforestación.

4.1.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales: En la zona de estudio las lluvias excepcionales e intensas incrementan la saturación del suelo, generando inestabilidad por infiltración hídrica. En temporada de lluvias (diciembre a marzo) las quebradas se reactivan generando flujos de detritos (huaicos).

4.1.3. Factores antrópicos

- Cambios en la geometría original de la ladera. Los cortes de carretera pueden desestabilizar las laderas generando derrumbes o caída de rocas.
- Deforestación o sobrepastoreo de laderas.
- Inadecuado manejo del drenaje en la zona urbana evidenciada por canales sin revestimiento.

4.2. Peligros geológicos en el sector de Chillín

En el sector Chillín, ubicado de 5 a 6 km de la capital del distrito de Sitabamba, y 2 km del caserío de Huancabamba, se identificó un movimiento complejo tipo (derrumbe-flujo de detritos) que afectó 200 m aproximadamente de la carretera Sitabamba-Chillín-Huamachuco (fotografía 7) y caída (derrumbes), así como erosión de laderas (cárcavas) que afectan la carretera en mención.



Fotografía 7. Derrumbe-flujo en el sector de Chillín que afectó 200 m de la carretera Sitabamba-Huamachuco. Se puede observar la fuerte pendiente del terreno. Coordenadas UTM WGS84: 197217E; 9113789N.

Versiones de autoridades locales, comentan que dicho evento ocurrió en noviembre de 2019, a consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales que se registraron en la zona, este evento afectó la vía de comunicación que interconecta el distrito de Sitabamba con la ciudad de Huamachuco (fotografía 8).



Fotografía 8. Vista de la zona de arranque del evento derrumbe-flujo en el sector de Chillín el cual afectó la vía de comunicación que une las ciudades de Sitabamba y Huamachuco. Coordenadas UTM WGS84: 197217E; 9113789N.

En la figura 6 se muestra un análisis multitemporal de imágenes satelitales de los años 2017 y 2019, el cual permitió identificar el evento ocurrido en noviembre del 2019, así como pequeños derrumbes predecesores (2017) al evento principal ocurrido el 2019 (b).

Los materiales provenientes del derrumbe se canalizaron por una cárcava a manera de flujo de detritos, a lo largo de 1.1 km, hasta llegar al río San Sebastián por la margen derecha.

De acuerdo con el Reporte complementario N° 315 emitido por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) el 3 de enero de 2020 a las 07:00 horas, a consecuencia de las fuertes precipitaciones pluviales se produjo un deslizamiento en el sector Chillín. Entre los daños mencionados en dicho reporte se registraron 650 metros de carretera afectada.

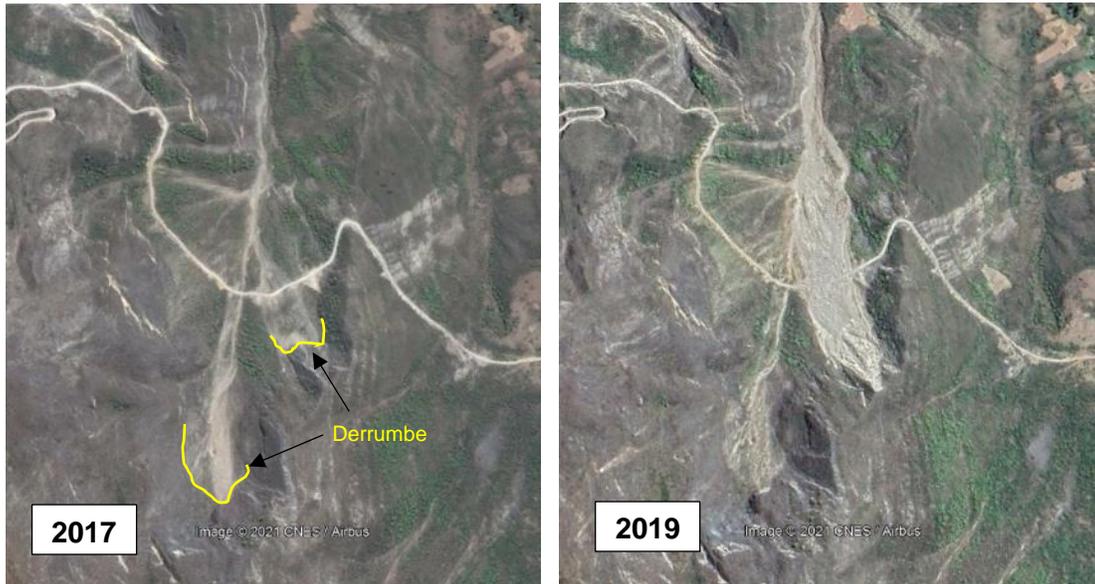


Figura 6. Imágenes satelitales de los años 2017 y 2019 que muestran derrumbes en el 2017 y el evento ocurrido en el sector de Chillín el año 2019.

4.2.1. Factores condicionantes

- Montañas y colinas estructurales en rocas sedimentarias, con pendiente muy fuerte del terreno (25 ° a 45 °).
- Substrato rocoso conformado por afloramientos de las formaciones Jumasha (calizas grises y amarillentas). Estos afloramientos se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, lo cual determina que sean susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.

- Presencia de suelos inconsolidados conformados por depósitos coluviales constituidos de gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables. Estos depósitos inconsolidados son fácil erosión por acción hídrica.
- Poca a escasa cobertura vegetal de la zona.

4.2.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales: Las lluvias excepcionales e intensas que ocurren en la zona de estudio (diciembre-marzo) incrementan la inestabilidad del terreno por infiltración hídrica, generando movimientos en masa como derrumbes y caídas de rocas.

4.2.3. Factores antrópicos

- Cambios en la geometría original de la ladera. Los cortes de laderas para la construcción de la carretera Sitabamba-Huamachuco pueden desestabilizar las laderas generando derrumbes o caída de rocas.
- Deforestación de laderas.

4.3. Peligros geológicos en el centro poblado Chagavara

Chagavara se localiza en la margen izquierda de la quebrada del mismo nombre, sobre terrenos con pendiente promedio de hasta 26°.

En este centro poblado, se identificaron movimientos en masa, tipo reptación, deslizamiento y caída (derrumbe). Además de procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas, y erosión fluvial en la quebrada Chagavara.

Las erosiones de laderas (cárcavas) al estar desprovistas de canalización, van generando infiltración y saturación del suelo, por consecuencia la inestabilidad del terreno y la generación de procesos de reptación de suelos; los cuales se presentan con agrietamientos en el terreno de hasta 1.5 m de altura aproximadamente (fotografía 9).



Fotografía 9. Reptación de suelos con presencia de agrietamientos en el terreno de hasta 1.5 m de altura, identificado en el centro poblado Chagavara.

Además, según mencionan las autoridades locales, en la parte alta se ubica un manantial que drena como riachuelo y que atraviesa el centro poblado; posiblemente este manantial contribuye en la saturación del terreno y sus posibles asentamientos.

Es importante considerar que en la parte baja del centro poblado Chagavara se encuentra la quebrada del mismo nombre, la cual en temporada de lluvias incrementa su acción erosiva generando la ocurrencia de deslizamientos y asentamientos del terreno (fotografía 10) sobre el cual se asienta el centro poblado en mención, así como la aceleración de los procesos de reptación de suelos. Dicha erosión y socavamiento de la quebrada, ha erosionado y afectado 85 m aproximadamente del terraplén de la carretera Chagavara-Sitabamba, así como terrenos de cultivo.



Fotografía 10. Asentamientos del terreno en la margen izquierda de la quebrada Chagavara.

Un factor antrópico a considerar es el mal manejo del sistema de drenaje pluvial, debido a que los canales de drenaje se encuentran sin revestimiento, esto genera la infiltración de las aguas hacia el subsuelo (fotografía 11). Evidencia de esta infiltración es que algunas viviendas presentan infiltraciones en sus interiores y afectación de sus cimentaciones. En los alrededores de estos canales se han evidenciado procesos de reptación de suelos que podrían afectar a las viviendas ubicadas en los alrededores.

Entre los daños registrados y evidenciados en trabajos de campo, se tienen agrietamientos en la infraestructura de la I.E. Mario Vargas Llosa 80595-Chagavara (fotografía 12), los cuales datan desde el 2019 y han generado el colapso de algunas aulas; determinando y declarando como inhabitable dicha institución; para lo cual se ha instalado un colegio temporal hacia la parte alta.



Fotografía 11. Canales de drenaje sin revestimiento que genera infiltración hacia el subsuelo y afectación en viviendas próximas a estos canales. También se pueden observar procesos de reptación de suelos.



Fotografía 12. Agrietamientos en la I.E. Mario Vargas Llosa 80595-Chagavara.

4.3.1. Factores condicionantes

- Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria con pendientes fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°).
- Substrato rocoso incompetente conformado por arcillitas calcáreas, margas amarillentas y calizas de la Formación Crisnejas. Estos afloramientos se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente meteorizados, lo cual genera que sean susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Presencia de suelos coluvio-deluviales compuestos por gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, que presentan una permeabilidad media a alta y con poca compactación. Estos depósitos son de fácil erosión.
- Dinámica fluvial que genera erosión y socavamiento por la quebrada Chagavara y consecuentes deslizamientos y derrumbes.
- Presencia de filtraciones de agua de escorrentía que inestabilizan el terreno.
- Poca o escasa cobertura vegetal.

4.3.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales: En la zona de estudio las lluvias excepcionales e intensas (diciembre a marzo) incrementan la saturación del suelo, generando inestabilidad por infiltración hídrica y posteriormente la ocurrencia de procesos de reptación de suelos.

4.3.3. Factores antrópicos

- Mal manejo del sistema de drenaje en el centro poblado Chagavara evidenciado por la presencia de canales sin revestimiento que generan infiltración de las aguas de escorrentía (fotografía 11).
- Cambios en la geometría original de la ladera. Los cortes de carretera pueden desestabilizar las laderas generando derrumbes o caída de rocas.
- Deforestación o sobrepastoreo de laderas.

4.4. Peligros geológicos en el centro poblado Chagapampa

El centro poblado Chagapampa se ubica en la margen derecha de la quebrada Pijobamba, sobre terrenos con pendientes entre 35° a 45°.

En esta zona se han identificado procesos de reptación de suelos, caída (derrumbes) y deslizamiento, así como erosión de laderas (cárcavas).

Ante la presencia de asentamientos en el terreno generada por la filtración de aguas desde la parte alta, se considera al centro poblado como inestable (fotografía 13). Estos

asentamientos se deben a la presencia de manantiales que discurren a lo largo de las laderas hacia la parte baja con facilidad.



Fotografía 13. Asentamientos del terreno producidos por reptación de suelos en el centro poblado Chagapampa. Se pueden observar la inclinación de los árboles que evidencian estos procesos.

Según las autoridades locales, estos asentamientos del terreno, se vienen presentando desde el año 2016, e intensificando en temporadas de lluvias intensas y/o excepcionales producidas en la zona (diciembre a marzo).

Estos procesos de reptación de suelos propiamente dichos se producen por la fuerte pendiente del terreno, así como la infiltración de aguas de escorrentía desde la parte alta. Este proceso de reptación es lento pero genera en la parte baja la ocurrencia de derrumbes, los cuales afectan directamente al local comunal y losa deportiva del centro poblado Chagapampa (fotografías 14 y 15).



Fotografía 14. Derrumbes que afectan el local comunal de Chagapampa. Se puede observar la inclinación de los arboles producida por la reptación de los suelos.



Fotografía 15. Agrietamientos en la losa deportiva del centro poblado Chagapampa producidos por asentamientos del terreno.

4.4.1. Factores condicionantes

- Pendientes muy fuertes del terreno (25° a 45°), configuradas en montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.
- Características del substrato rocoso conformado por arcillitas calcáreas, margas amarillentas y calizas de la Formación Crisnejas. Estos afloramientos se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, lo cual determina una calidad geotécnica regular a mala. Estos afloramientos incompetentes son susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Presencia de suelos inconsolidados coluviales y coluvio-deluviales compuestos por gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, de permeabilidad media a alta y poca compactación. Estos depósitos son de fácil erosión hídrica.
- Presencia de filtraciones de agua de escorrentía que inestabilizan el terreno (saturación del suelo).
- Poca o escasa cobertura vegetal.

4.4.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales: En la zona de estudio las lluvias excepcionales e intensas durante los meses de diciembre a marzo incrementan la saturación del suelo, generando inestabilidad por infiltración hídrica.

4.4.3. Factores antrópicos

- Cambios en la geometría original de la ladera. Los cortes del talud, para la construcción de obras de infraestructura y/o carreteras pueden desestabilizar las laderas generando derrumbes o caída de rocas, como los ocurridos en la zona de estudio.

4.5. Peligros geológicos en el centro poblado Pijobamba

El centro poblado Pijobamba se encuentra ubicado en la margen izquierda de la quebrada del mismo nombre, sobre terrenos con pendientes de 15° a 30°.

En el centro poblado en mención se identificaron eventos de reptación de suelos, deslizamiento y caída (derrumbes), así como erosión fluvial y erosión de laderas (cárcavas).

Hacia la parte baja de Pijobamba, en ambas márgenes de la quebrada Pijobamba se producen deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión fluvial, los cuales generan la inestabilidad del terreno sobre el cual se asienta la población de Pijobamba (fotografías 16 y 17).

De igual modo, en el área local del centro poblado, se presentan reptación de suelos, con asentamientos del terreno y posteriormente agrietamientos en las viviendas y la posta de salud Pijobamba (fotografía 18).



Fotografía 16. Deslizamientos recientes en la margen derecha de la quebrada Pijobamba, generados por erosión fluvial.



Fotografía 17. Derrumbes identificados en la margen izquierda de la quebrada Pijobamba, generados por erosión fluvial.



Fotografía 18. Agrietamientos en el Puesto de Salud Pijobamba debido a los asentamientos del terreno.

De igual modo en los alrededores de la quebrada Aliso la reptación de suelos, ha generado asentamientos y agrietamientos como en el colegio 80591 Ciro Alegría Bazán (fotografía 19).



Fotografía 19. Procesos de reptación de suelos en la parte alta del colegio 80591 Ciro Alegría Bazán.

Finalmente hacia el río Chuvilca, en la parte baja del centro poblado Pijobamba, se presentan procesos de erosión fluvial en ambas márgenes, afectaron el puente que unía los poblados de Pijobamba y Bellavista, teniendo que implementar un puente peatonal rural. Los procesos de erosión fluvial han generado la ocurrencia de derrumbes en ambas márgenes y esta acción incrementa debido a la sobrecarga del río en mención durante lluvias excepcionales e intensas.

4.5.1. Factores condicionantes

- Pendientes fuertes (15° a 25°) a muy fuerte del terreno (25° a 45°), configuradas en montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria.
- Características del substrato rocoso incompetente que corresponden a arcillitas calcáreas, margas amarillentas y calizas de la Formación Crisnejas. Estos afloramientos se encuentran medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, lo cual determina que sean susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
- Características de los suelos inconsolidados que corresponden a depósitos coluviales compuestos por gravas y bloques angulosos a subangulosos de tamaños variables, envueltos en una matriz arenoarcillosa, de permeabilidad media a alta y que presentan poca compactación.
- Erosión fluvial en la quebrada Pijobamba que inestabiliza el terreno generando deslizamientos y derrumbes.
- Filtraciones de agua de escorrentía que inestabilizan el terreno.
- Poca o escasa cobertura vegetal.

4.5.2. Factores desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas y/o excepcionales: En la zona de estudio las lluvias excepcionales e intensas durante los meses de diciembre a marzo incrementan la saturación del suelo, generando inestabilidad por infiltración hídrica.

4.5.3. Factores antrópicos

- Inadecuado manejo del sistema de drenaje evidenciado por la presencia de canales sin revestimiento que generan infiltración de las aguas de escorrentía.
- Cambios en la geometría original de la ladera. Los cortes de carretera pueden desestabilizar las laderas generando derrumbes o caída de rocas.
- Deforestación o sobrepastoreo de laderas.

5. CONCLUSIONES

Centro poblado Sitabamba

- a) Con la evaluación geológica en campo y tomando como referencia el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (Medina *et al.*, 2012), se determina que el centro poblado Sitabamba se localiza sobre zonas de susceptibilidad alta a muy alta a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, flujos y caídas (derrumbes).
- b) La presencia de afloramientos de granitos neisificados, medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, así como los depósitos coluviales de fácil remoción por acción hídrica, se presentan con muy alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.
- c) El centro poblado Sitabamba, se asienta sobre un relieve de vertiente o piedemonte coluvio-deluvial formado por depósitos de un deslizamiento antiguo, circundado por montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria y metamórficas, de muy fuerte pendiente (25° a 45°), estos relieves son muy proclives a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Se han identificado cuatro deslizamientos antiguos, dos flujos de detritos, treinta y tres derrumbes, y zonas con erosión de ladera (surcos y cárcavas) que corresponden a 375 ha aproximadamente.
- e) Sitabamba es atravesado por la quebrada Río Chico, el cual en temporada de lluvias se reactiva generando afectación en las viviendas de la zona urbana. Asimismo en las quebradas Ticapampa y La Laja se presentan flujos de detritos que afectan vías de acceso a Sitabamba, en aproximadamente tramos de 60 m y 150 m respectivamente.
- f) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado de Sitabamba se considera de **Peligro alto** a la ocurrencia de flujos de detritos, derrumbes y deslizamientos que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

Sector Chillín

- a) Considerando la evaluación geológica en campo y tomando como referencia el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (Medina *et al.*, 2012), se determina que el sector de Chillín se localiza sobre zonas de susceptibilidad moderada y alta a la ocurrencia de movimientos en masa como caídas (derrumbes) y movimientos complejos.
- b) La presencia de afloramientos de calizas, dolomitas, margas y arcillitas calcáreas, medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, así como los depósitos coluviales de fácil erosión por acción hídrica, se presentan con alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.

- c) El sector Chillín, se asienta sobre relieves de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria, que conforman elevaciones de muy fuerte pendiente (25° a 45°), estos relieves son muy proclives a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Se han identificado dos movimientos complejos (derrumbe-flujo), siete zonas de derrumbes y procesos de erosión de ladera (surcos y cárcavas) que corresponden a 34 ha aproximadamente.
- e) En el sector Chillín, se tienen 200 m aproximadamente de la carretera Sitabamba-Chillín-Huamachuco, afectada.
- f) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector de Chillín se considera de **Peligro muy alto** a la ocurrencia de movimientos complejos y derrumbes que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

Centro poblado Chagavara

- a) La evaluación geológica en campo y tomando como referencia el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (Medina *et al.*, 2012), se determina que el centro poblado Chagavara se localiza sobre zonas de susceptibilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos y reptación de suelos.
- b) La presencia de afloramientos de arcillitas calcáreas, margas amarillentas y calizas, medianamente a muy fracturados y moderadamente meteorizados, así como los depósitos coluvio-deluviales de fácil erosión por acción hídrica, se presentan con alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.
- c) El centro poblado Chagavara, se asienta sobre relieves de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria, que conforman elevaciones de fuerte pendiente (15° a 25°) a muy fuerte pendiente del terreno (25° a 45°), estos relieves son muy proclives a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Se han identificado dos zonas con reptación de suelos, tres deslizamientos antiguos, seis deslizamientos recientes, una zona de derrumbes antiguos, zonas de erosión fluvial en la quebrada Chagavara y erosión de ladera (surcos y cárcavas) que corresponden a 30 ha aproximadamente.
- e) En el centro poblado Chagavara, se tienen agrietamientos en la infraestructura de la I.E. Mario Vargas Llosa 80595-Chagavara, la afectación de hasta 85 m aproximadamente de la carretera Chagavara-Sitabamba, así como terrenos de cultivo.
- f) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado Chagavara se considera de **Peligro alto** a la ocurrencia de reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

Centro poblado Chagapampa

- a) Considerando la evaluación en campo y tomando como referencia el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (Medina *et al.*, 2012), se determina que el centro poblado Chagapampa se localiza sobre zonas de susceptibilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa como reptación de suelos.
- b) La presencia de afloramientos de arcillitas calcáreas, margas y calizas, medianamente a muy fracturados y moderadamente a altamente meteorizados, así como los depósitos coluviales y coluvio-deluviales de fácil remoción por acción hídrica, se presentan con alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.
- c) El centro poblado Chagapampa, se asienta sobre relieves de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria, que conforman elevaciones de muy fuerte pendiente del terreno (25° a 45°), estos relieves son muy proclives a la ocurrencia de movimientos en masa.
- d) Se han identificado una zona con reptación de suelos, dos deslizamientos recientes, tres derrumbes recientes, zonas de erosión fluvial en la quebrada Pijobamba y erosión de ladera (surcos y cárcavas) que corresponden a 5 ha aproximadamente.
- e) En el centro poblado Chagapampa, se tiene la afectación del local comunal del poblado en mención, así como de la losa deportiva, la cual presenta agrietamientos debido a los asentamientos del terreno.
- f) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado Chagapampa se considera de **Peligro alto** a la ocurrencia de reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

Centro poblado Pijobamba

- a) De acuerdo con la evaluación geológica y tomando como referencia el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, escala 1: 250 000 (Medina *et al.*, 2012), se determina que el centro poblado Pijobamba se localiza sobre zonas de susceptibilidad media a alta a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos.
- b) La presencia de afloramientos de arcillitas calcáreas, margas y calizas, muy fracturados y altamente meteorizados, así como los depósitos coluviales y coluvio-deluviales de fácil remoción por acción hídrica, se presentan con alta susceptibilidad a la generación de movimientos en masa.
- c) El centro poblado Pijobamba, se asienta sobre relieves de montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria, que conforman elevaciones de pendiente fuerte del terreno (15° a 25°) muy fuerte pendiente (25° a 45°), estos relieves son muy proclives a la ocurrencia de movimientos en masa.

- d) Se han identificado dos zonas con reptación de suelos, seis deslizamientos recientes, quince derrumbes recientes, zonas de erosión fluvial en el río Chivilca y erosión de ladera (surcos y cárcavas) que corresponden a 16 ha aproximadamente.
- e) En el centro poblado Pijobamba, se tienen agrietamientos en las viviendas y la posta de salud del poblado en mención, así como en el colegio 80591 Ciro Alegría Bazán. Asimismo en el río Chivilca, el puente que unía los poblados de Pijobamba y Bellavista fue destruido.
- f) Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el centro poblado Pijobamba se considera de **Peligro muy alto** a la ocurrencia de reptación de suelos, deslizamientos y derrumbes que podrían ser desencadenados por lluvias intensas y/o prolongadas.

6. RECOMENDACIONES

Centro poblado Sitabamba

- a) Realizar labores de limpieza y encauzamiento de la quebrada Río Chico, que atraviesa la zona urbana de Sitabamba; así como prohibir el arrojado de desechos sólidos y/o desmonte en el cauce de dicha quebrada. De igual modo se recomienda para las quebradas Ticapampa, La Laja y otras quebradas sin nombres.
- b) Mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales en el centro poblado Sitabamba y evacuarlas hacia otras quebradas.
- c) Desarrollar prácticas de riego por goteo o aspersión con el fin de minimizar la saturación de los suelos que generan inestabilidad del terreno.
- d) Sensibilizar y concientizar a la población y autoridades locales mediante talleres o charlas, sobre los peligros geológicos a los que se encuentran expuestos.
- e) Implementar un badén que permita el paso de vehículos y transeúntes en las quebradas Ticapampa y La Laja, el cual además servirá de paso para el material transportado por los huaicos de las quebradas que afectan los tramos de las carreteras hacia Sitabamba.
- f) Como medidas de protección de laderas, desarrollar proyectos a mediano y largo plazo de reforestación, usando árboles nativos de la zona, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa.
- g) Considerar implementar las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 3. Dichas medidas deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

Sector Chillín

- a) Realizar labores de limpieza de material caído y desquinche de bloques inestables y/o desprendidos a la altura de la zona de arranque del derrumbe-flujo. Dichas actividades deben ser dirigidas por un especialista.
- b) Realizar la modificación de la ladera del cerro, en forma de banquetas (terraceo), según especificaciones técnicas de un especialista. Ver Anexo 3.
- c) Colocar señales en la vía de acceso afectada (sector Chillín) y en otras zonas afectadas, advirtiendo la posible ocurrencia de derrumbes y/o caída de rocas.
- d) Realizar un estudio geomecánico minucioso de los afloramientos rocosos en el sector Chillín. Dichos trabajos deben ser dirigidos por un especialista.
- e) Como medidas de protección de laderas, desarrollar proyectos a mediano y largo plazo de reforestación, usando árboles nativos de la zona, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa.

- f) Considerar implementar las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 3. Dichas medidas deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

Centro poblado Chagavara

- a) Mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales en el centro poblado Chagavara con el objetivo de evacuar las aguas superficiales hacia la quebrada del mismo nombre.
- b) La I.E. Mario Vargas Llosa 80595-Chagavara, debe ser inhabilitada inmediatamente, porque pone en riesgo la seguridad física de las personas.
- c) Realizar estudios de suelos y caracterización geotécnica en la zona de reubicación temporal de la I.E. Mario Vargas Llosa 80595-Chagavara, para determinar la capacidad portante del suelo.
- d) Los drenajes provenientes de los manantiales y/o puquiales deben ser canalizados y revestidos con tuberías de PVC, para evitar la infiltración de agua.
- e) Realizar el mantenimiento, encauzamiento y limpieza de la quebrada Chagavara y otras quebradas sin nombres, ante eventos de lluvia, con la finalidad de minimizar la cantidad de material que pueda incluirse a los flujos, reduciendo así la intensidad de los mismos y la erosión.
- f) Implementar defensas ribereñas, muros de contención y/o gaviones en la quebrada Chagavara. También muros de mampostería para proteger el trazo de la carretera Chagavara-Sitabamba. Dichas obras deben ser dirigidas y ejecutadas por especialistas.
- g) Realizar el cambio de sistema de regadío por aspersión o goteo y la capacitación para el correcto uso del mismo, con la finalidad de evitar la saturación de los terrenos.
- h) Como medidas de protección de laderas, desarrollar proyectos a mediano y largo plazo de reforestación, usando árboles nativos de la zona, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa.
- i) Considerar implementar las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 3. Dichas medidas deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

Centro poblado Chagapampa

- a) Mejorar el sistema de drenaje pluvial en el centro poblado Chagapampa con el objetivo de evacuar las aguas superficiales hacia las quebradas.
- b) Reubicar el local comunal del centro poblado Chagapampa porque pone en riesgo la seguridad física de las personas.
- c) Realizar estudios de suelos y caracterización geotécnica en la zona de reubicación del local comunal del centro poblado Chagapampa, para determinar la capacidad portante del suelo.

- d) Los drenajes provenientes de los manantiales y/o puquiales deben ser canalizados y revestidos con tuberías de PVC, para evitar la infiltración de agua.
- e) Realizar el cambio de sistema de regadío por aspersión o goteo y la capacitación para el correcto uso del mismo, con la finalidad de evitar la saturación de los terrenos.
- f) Como medidas de protección de laderas, desarrollar proyectos a mediano y largo plazo de reforestación, usando árboles nativos de la zona, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa.
- g) Considerar implementar las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 3. Dichas medidas deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.

Centro poblado Pijobamba

- a) Mejorar de manera inmediata el sistema de drenaje pluvial en el centro poblado Pijobamba con el objetivo de evacuar las aguas superficiales hacia las quebradas.
- b) Los drenajes provenientes de los manantiales y/o puquiales deben ser canalizados y revestidos con tuberías de PVC, para evitar la infiltración de agua y la saturación de los suelos.
- c) Reubicar las viviendas afectadas por agrietamientos debido a que pone en riesgo la seguridad física de las personas.
- d) Realizar estudios de suelos y caracterización geotécnica en la zona de reubicación de las viviendas afectadas, para determinar la capacidad portante del suelo.
- e) Realizar el cambio de sistema de regadío por aspersión o goteo y la capacitación para el correcto uso del mismo.
- f) Como medidas de protección de laderas, desarrollar proyectos a mediano y largo plazo de reforestación, usando árboles nativos de la zona, con la finalidad de disminuir la erosión de las aguas de escorrentía sobre el terreno, las cuales pueden generar la ocurrencia de nuevos movimientos en masa.
- g) Considerar implementar las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan en el Anexo 3. Dichas medidas deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.


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


Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

7. BIBLIOGRAFÍA

Medina, L., Luque, G. & Pari, W. (2012). Riesgo Geológico en la región La Libertad. *INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica*, 50, 233 p, 9 mapas.

Medina, L. & Luque, G. (2008): Informe técnico preliminar: Zonas Críticas en la Región La Libertad.

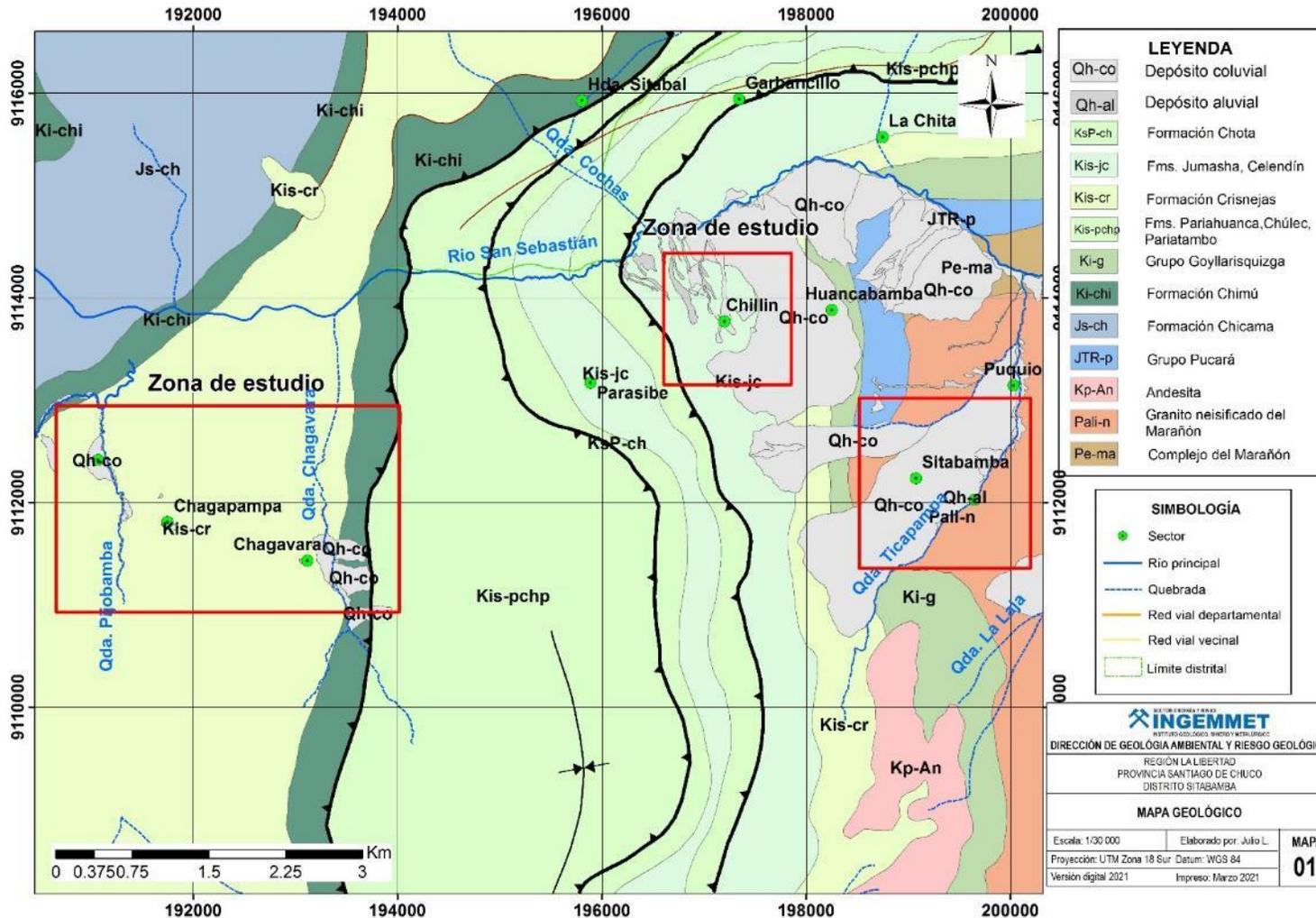
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

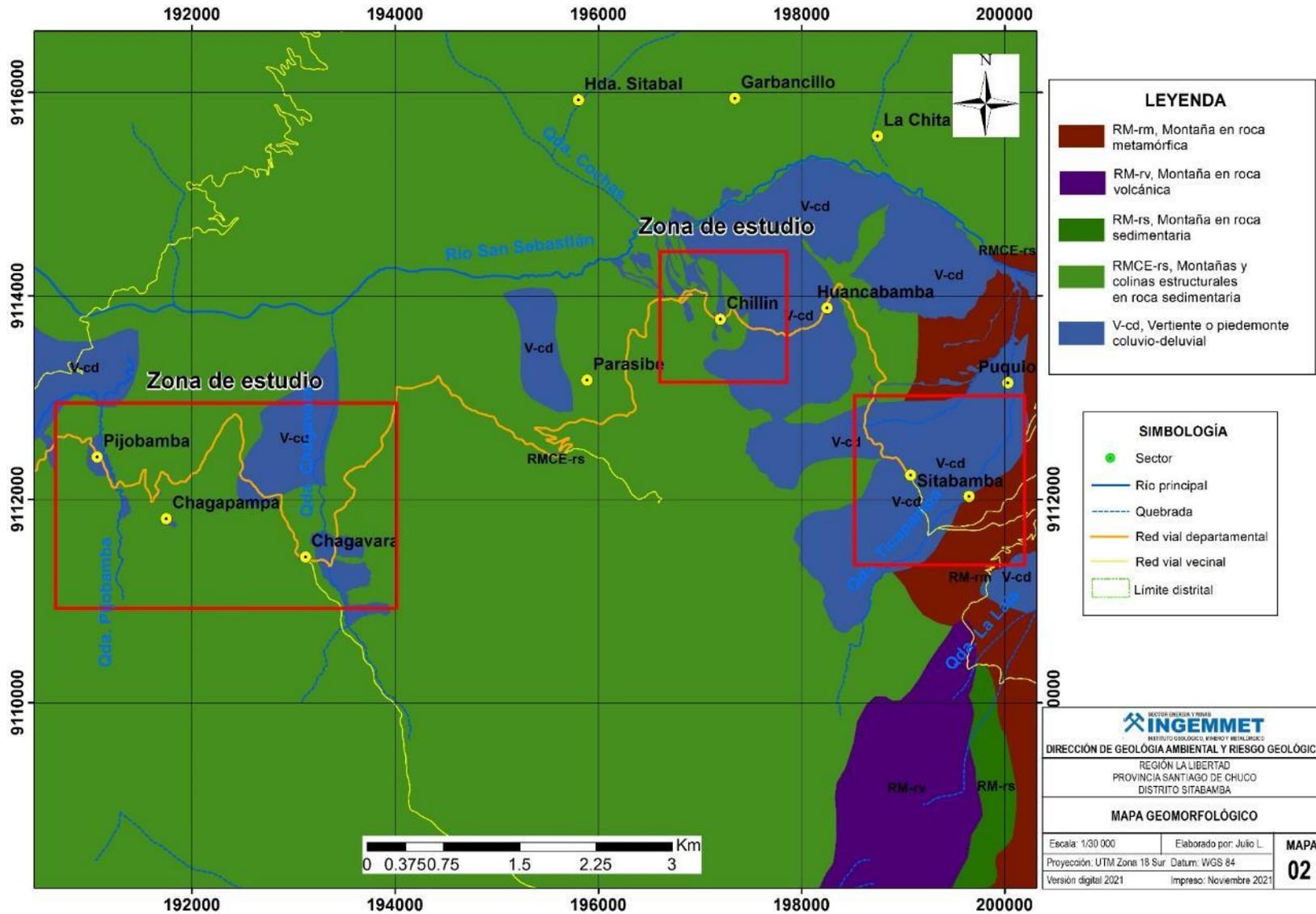
Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos, 282 p.

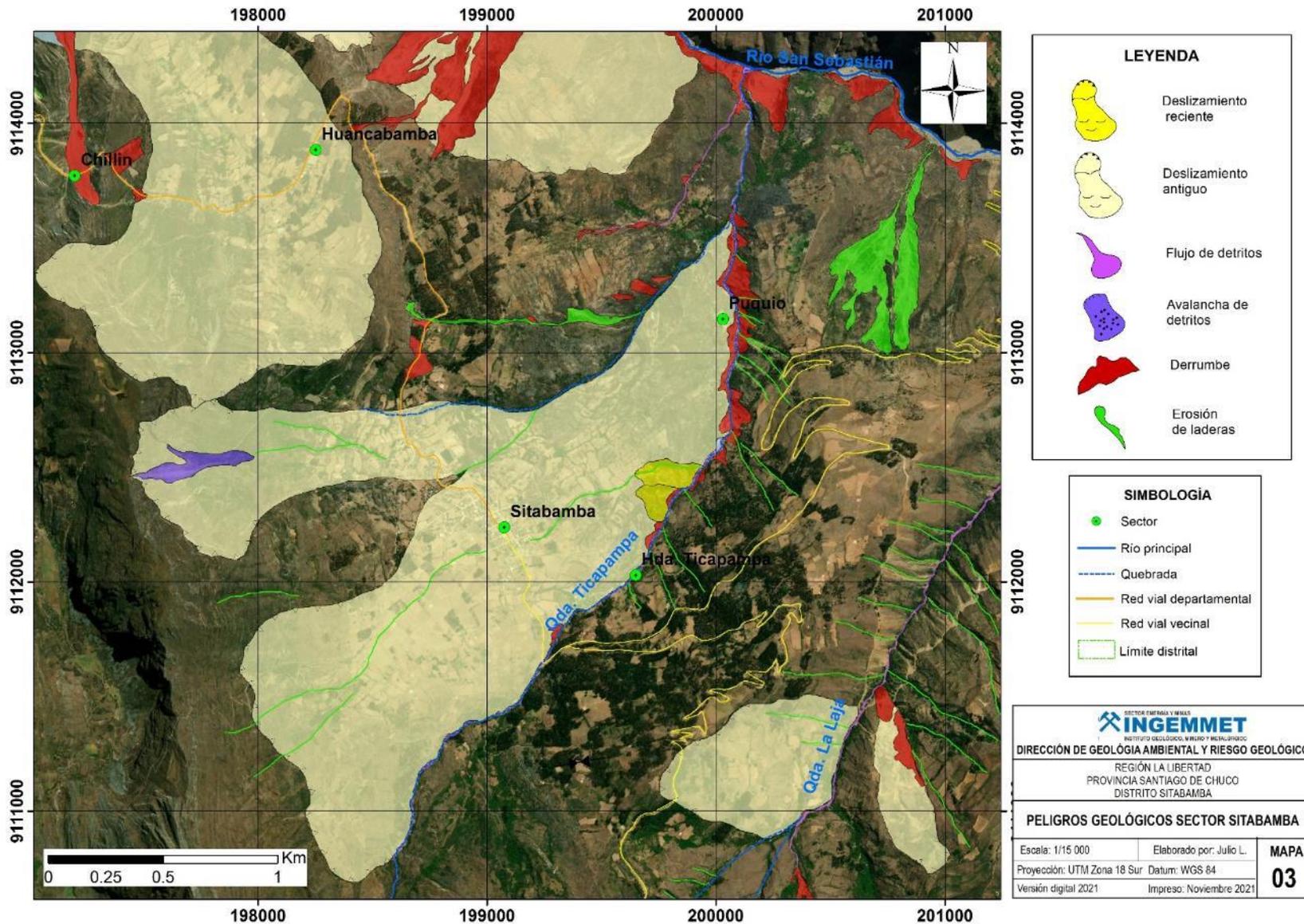
Varnes, J. (1978) - Slope movements types and processes. In: SCHUSTER, L. & KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C. National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

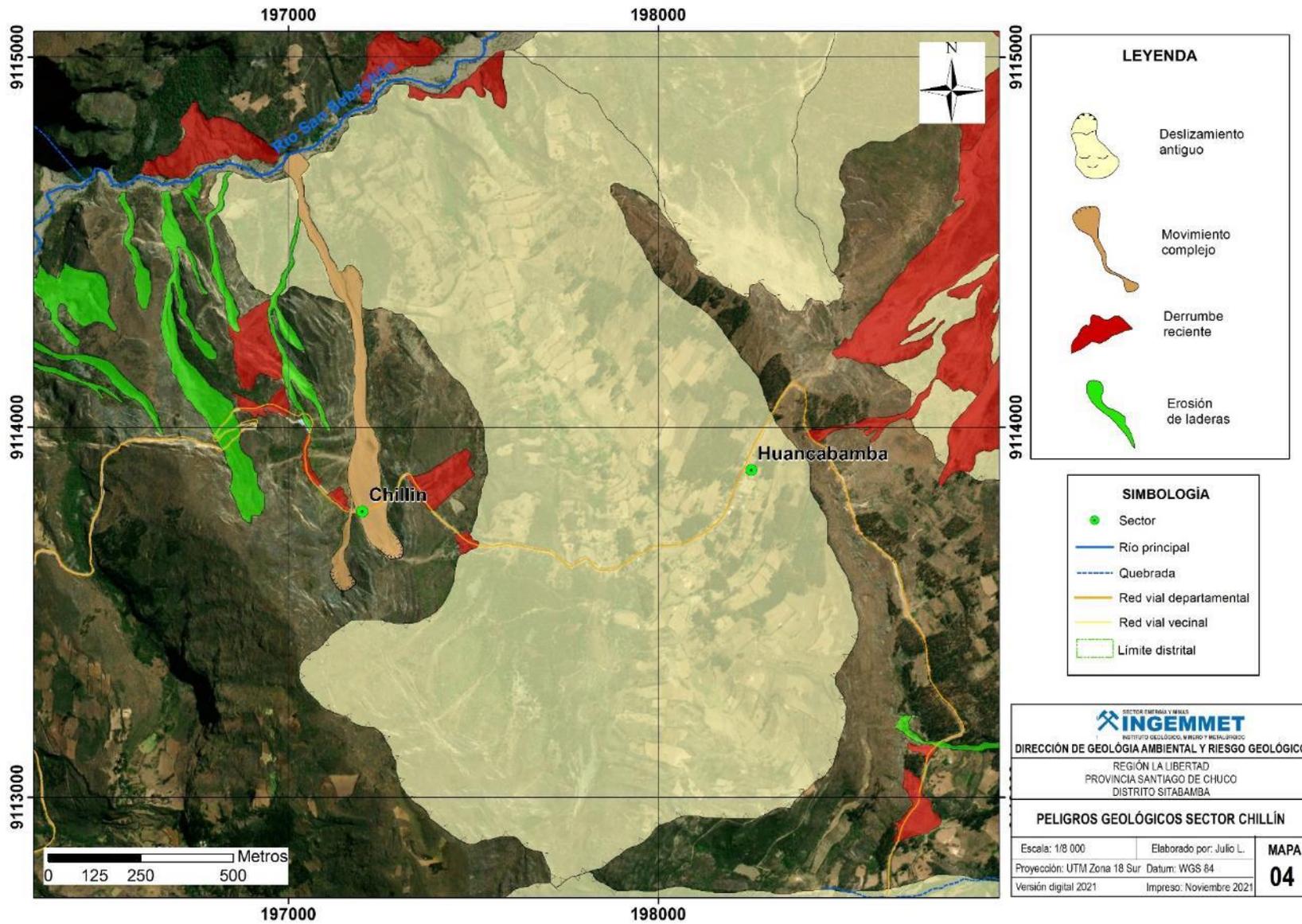
Wilson, J.; Reyes, L. y Garayar, J. (1995). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari". *INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional*, 60, 79 p.

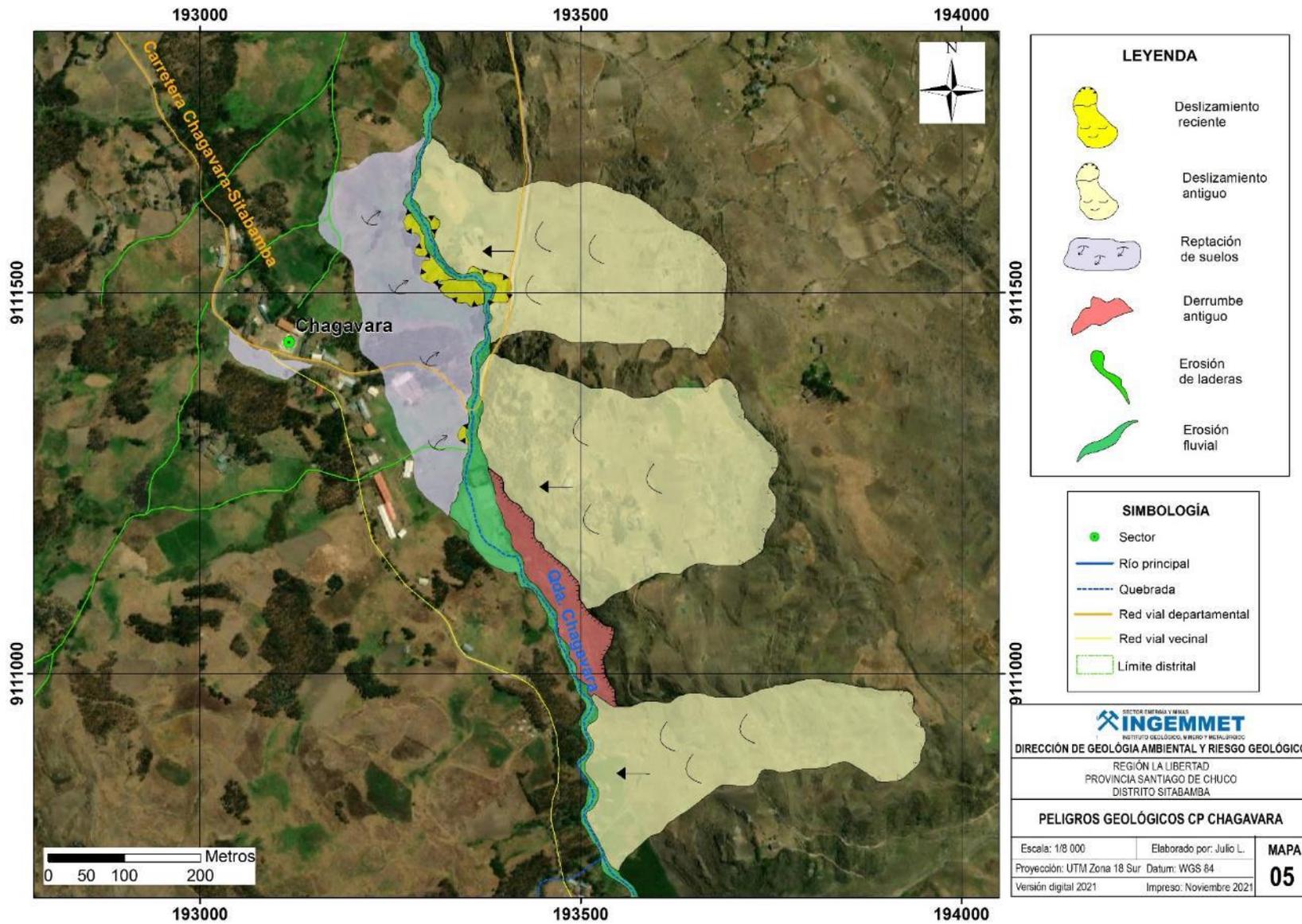
ANEXO 1: MAPAS

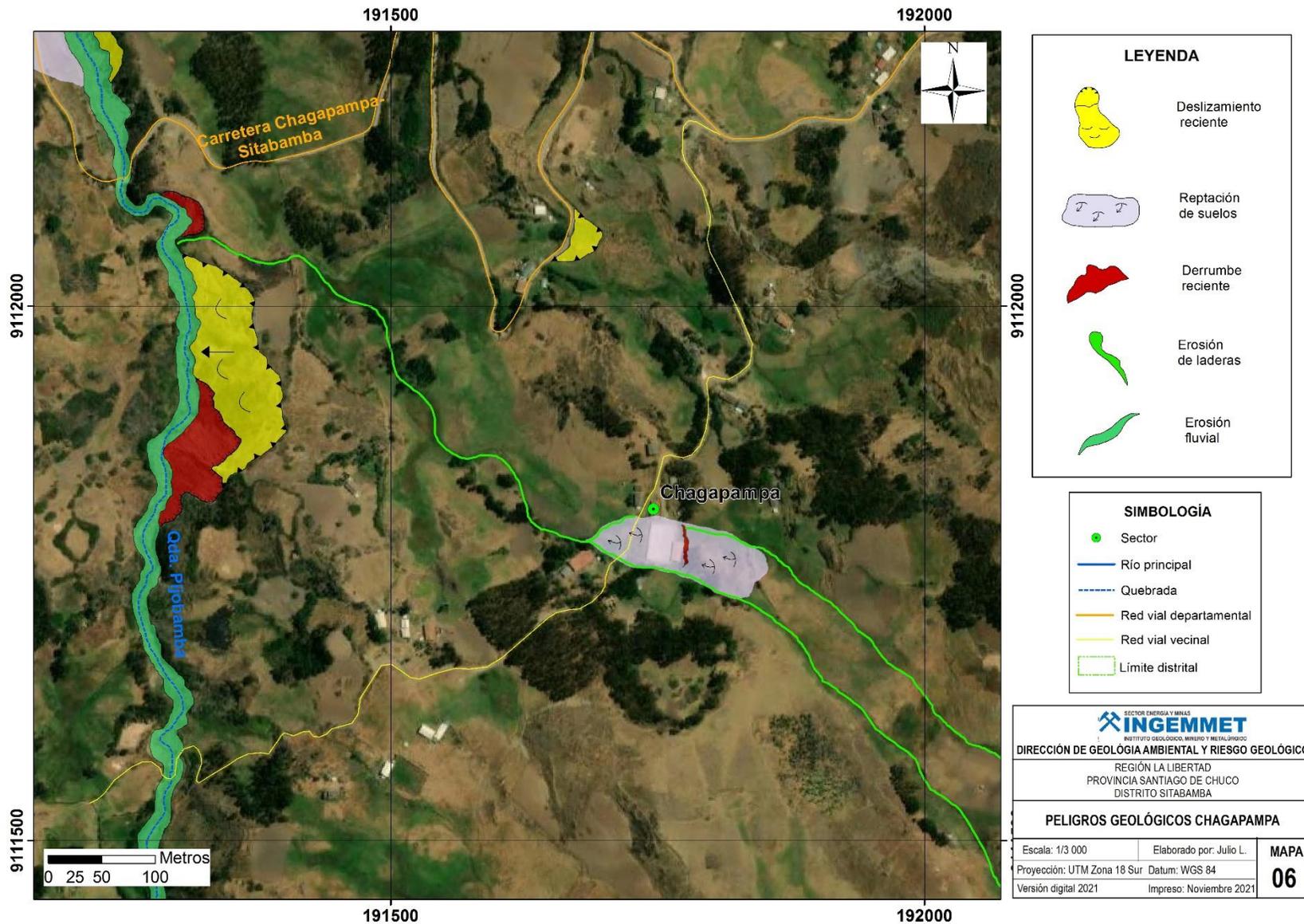


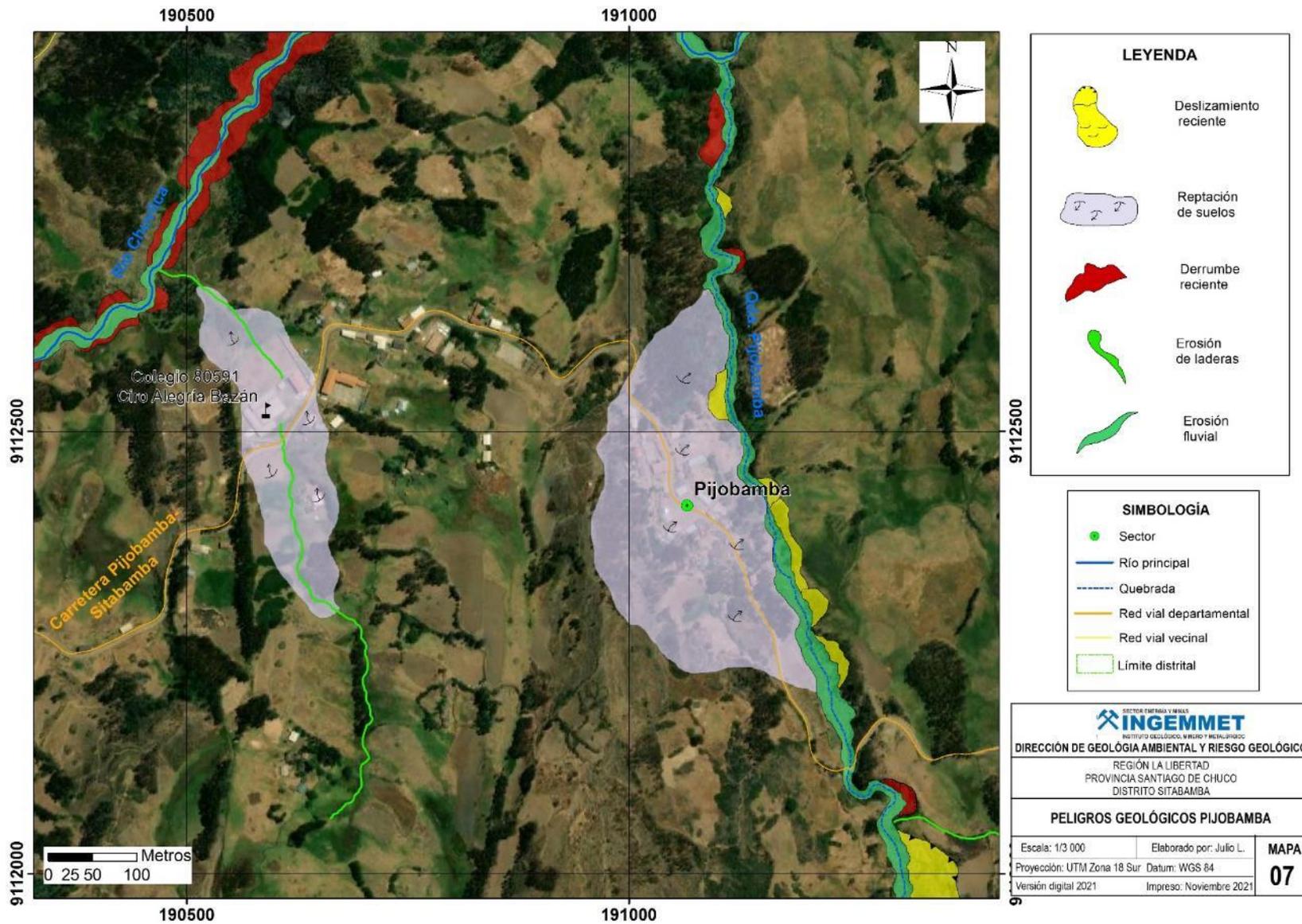












LEYENDA

- Deslizamiento reciente
- Reptación de suelos
- Derrumbe reciente
- Erosión de laderas
- Erosión fluvial

SIMBOLOGÍA

- Sector
- Río principal
- Quebrada
- Red vial departamental
- Red vial vecinal
- Límite distrital

INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 REGIÓN LA LIBERTAD
 PROVINCIA SANTIAGO DE CHUCO
 DISTRITO SITABAMBA

PELIGROS GEOLÓGICOS PIJOBAMBA

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Escala: 1/3 000 | Elaborado por: Julio L. | MAPA 07 |
| Proyección: UTM Zona 18 Sur | Datum: WGS 84 | |
| Versión digital 2021 | Impreso: Noviembre 2021 | |

ANEXO 2: GLOSARIO

a) Caída

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 desplazamiento cortante apreciable. 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. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada (Figura 1). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

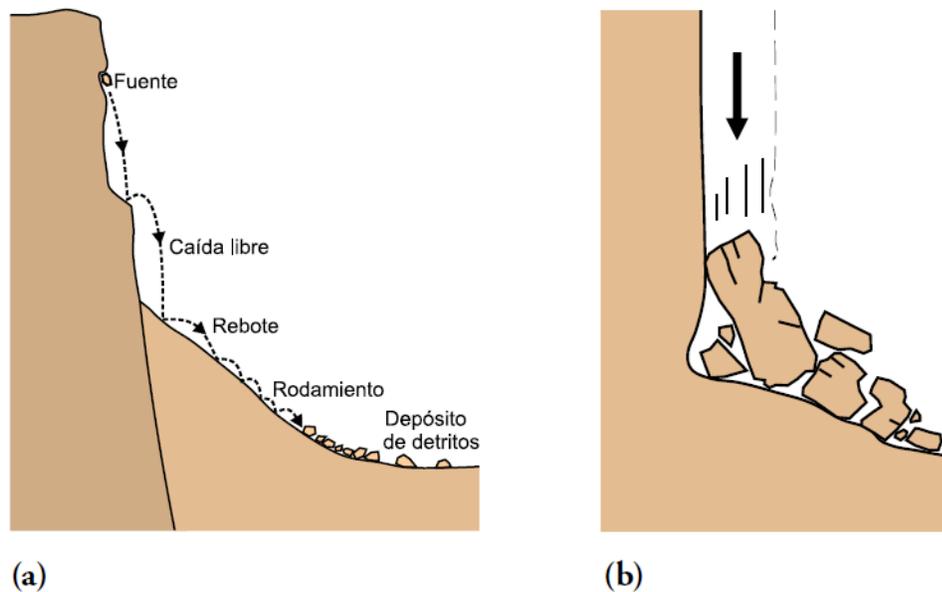


Figura 1. (a) Esquema de la caída de rocas; (b) Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

b) Derrumbe

Los derrumbes son caídas violentas de material que se puede dar tanto en macizos rocosos como en depósitos de cobertura, desarrollados por: heterogeneidad litológica, meteorización, fracturamiento, fuertes pendientes, humedad y/o precipitaciones, sismos y erosión generada en las márgenes.

Estos fenómenos suelen producirse en taludes verticales en suelos inconsolidados a medianamente consolidados, rocas muy fracturadas y en el corte de carreteras, canteras, acantilados marinos, taludes de terraza, etc. (Figura 2).

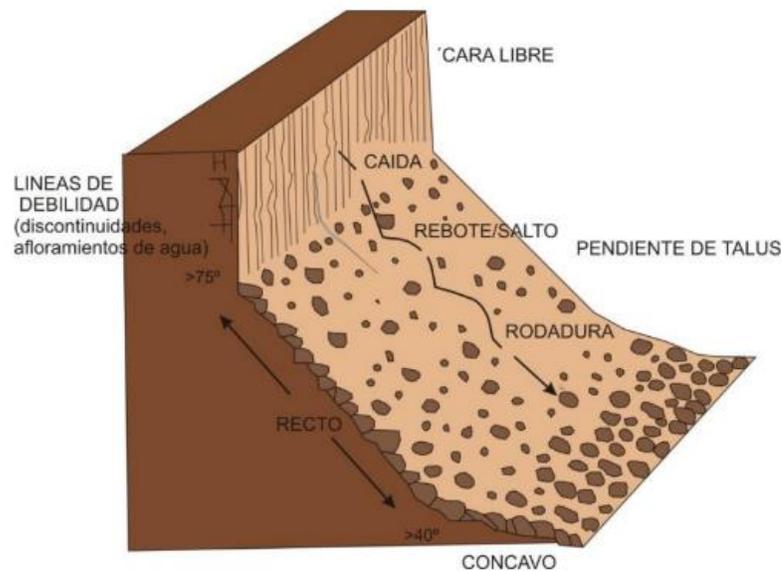


Figura 2. Esquema de un derrumbe (Vílchez, 2015).

c) Deslizamiento

Los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca, desplazándose a lo largo de una superficie. Según Varnes (1978), se clasifica a los deslizamientos por la forma de la superficie de falla o ruptura 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).

Los deslizamientos rotacionales son un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava (Figura 3). Los deslizamientos 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 la Figura 4, se representa las partes principales de un deslizamiento rotacional.

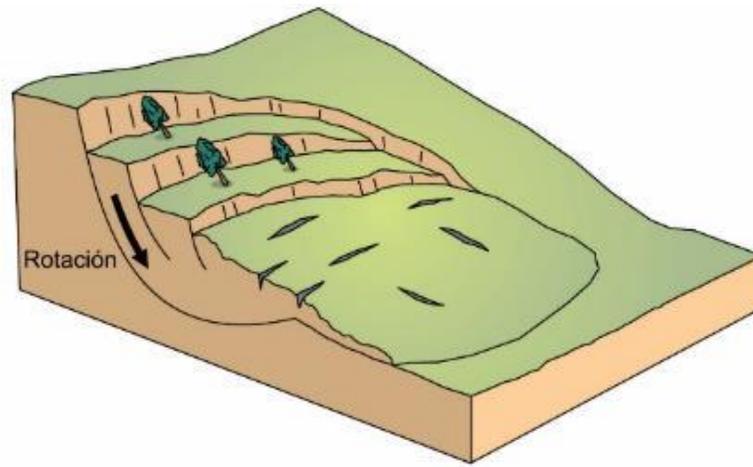


Figura 3. Esquema de un deslizamiento rotacional (tomado del Proyecto Multinacional Andino, 2007).

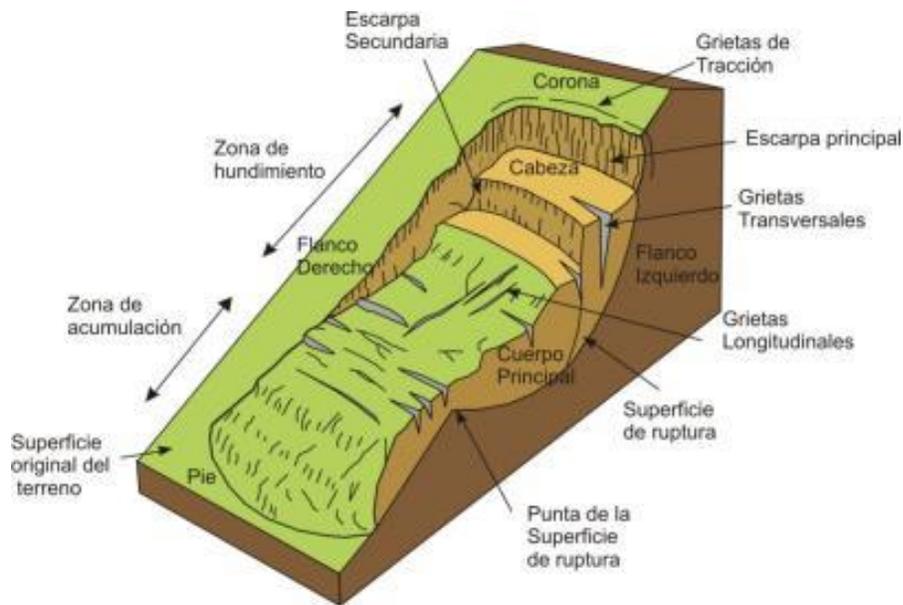


Figura 4. Esquema de un deslizamiento rotacional donde se muestra sus partes principales.

d) Flujos

Son movimientos en masa que durante su desplazamiento exhiben un comportamiento semejante al de un fluido; pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según la proporción de las fracciones sólidas y líquidas que conforman el flujo, así como por el mecanismo de movimiento y la velocidad del movimiento se pueden diferenciar hasta siete tipos diferentes de eventos: flujo seco, flujo de detritos, inundación de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, avalancha de rocas y avalancha de detritos (Varnes, 1978; Hungr et al. 2001 y Hungr, 2005).

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), flujos de lodo, avalanchas de detritos o de rocas, etc. (Figura 5).

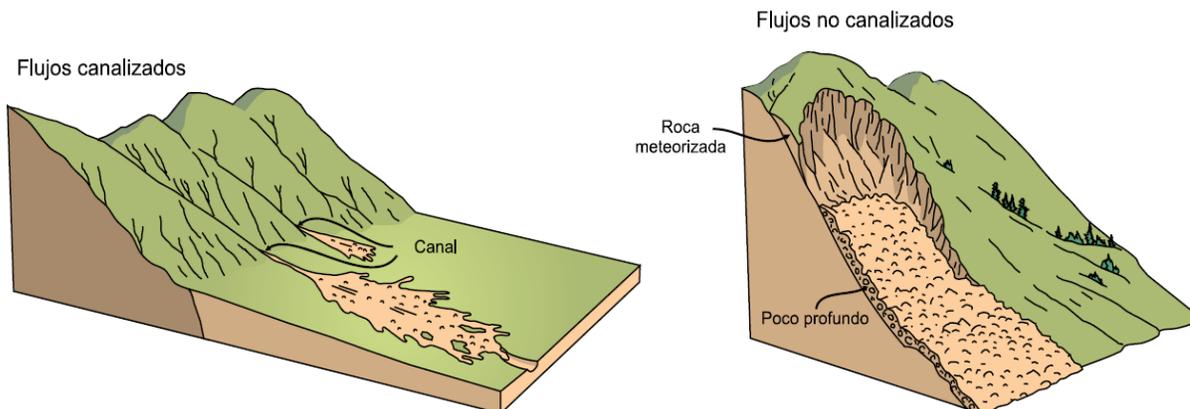


Figura 5. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden & Varnes, 1996).

Flujos de detritos

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.

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 depositación en abanico como se muestra en la Figura 6 (Bateman *et al*, 2006).

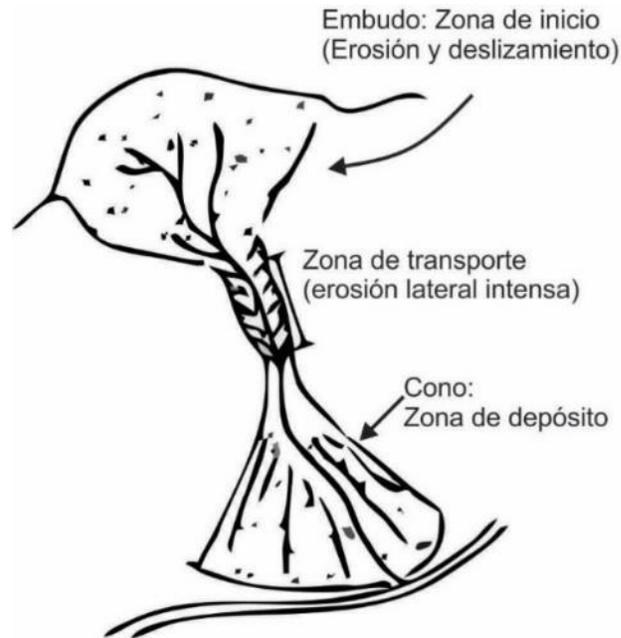


Figura 6. Esquema de generación de un flujo de detritos (Modificado de: Bateman *et al*, 2006).

Normalmente los flujos de detritos buscan retomar su lecho natural. El potencial destructivo de estos procesos está dominado por su velocidad y la altura alcanzada por el material arrastrado. Por ello, estos eventos son muy violentos y tienen una gran cantidad de energía que destruye todo lo que encuentran a su paso. Por tanto, es muy importante una caracterización geológica detallada de los eventos, asociada al grado de peligro al que está expuesta un área determinada.

e) Cárcavas

Según Poesen (1993) una cárcava es un canal resultante de la erosión causada por un flujo intermitente de agua durante o inmediatamente después de fuertes lluvias.

La FAO (1967) describe el crecimiento de las cárcavas como el resultado de la combinación de diferentes procesos, los cuales pueden actuar de manera aislada. Estos procesos comprenden:

- Erosión en el fondo o en los lados de la cárcava por la corriente de agua y materiales abrasivos (fragmentos de roca o partículas de suelo).
- Erosión por el agua de escorrentía que se precipita en la cabecera de la cárcava y que ocasiona la regresión progresiva de ésta.
- Derrumbes en ambos lados de la cárcava por erosión de las aguas de escorrentía.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección transversal en forma de “V” pero al presentarse un material más resistente a la erosión o interceptar el nivel freático, se extienden lateralmente, tomando una forma en “U” (Figura 7).

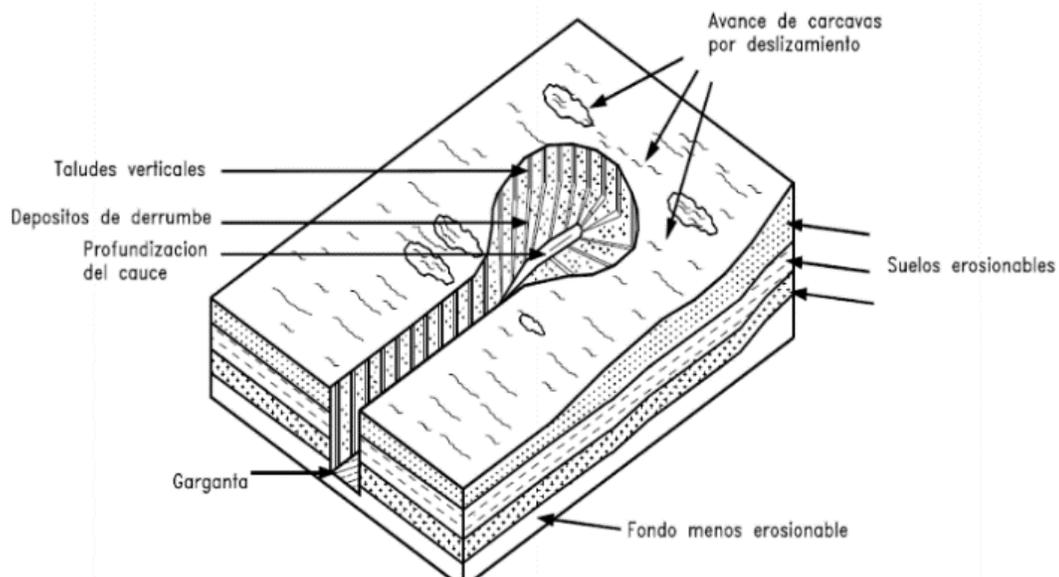


Figura 7. Esquema general de una cárcava. Tomado de Suárez (1998).

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN

Las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan a las autoridades pueden ser utilizadas en forma independiente o combinada, según las características de cada talud. Dichas técnicas dependerán de un estudio geotécnico a detalle realizado por un especialista en geotecnia.

Medidas 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 flujos.

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 zona como troncos, ramas, etc. (Figuras 1 a 4).
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas del distrito.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (Figuras 1 y 5). De esta manera, se aseguraría 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, deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán frente a 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. Asimismo, se debe evitar la quema de pajonales.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo con las condiciones climáticas de las cuencas.

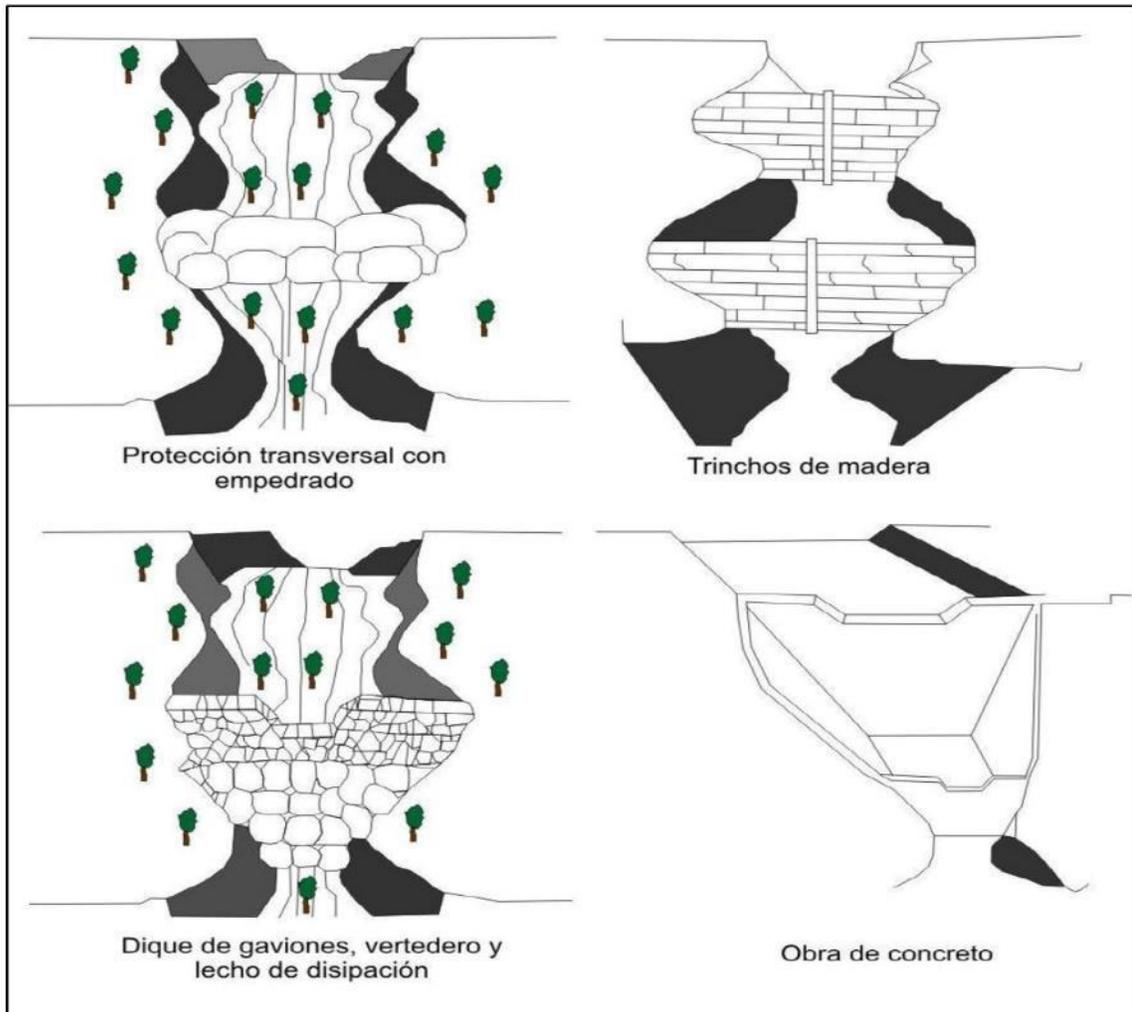


Figura 1. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas.

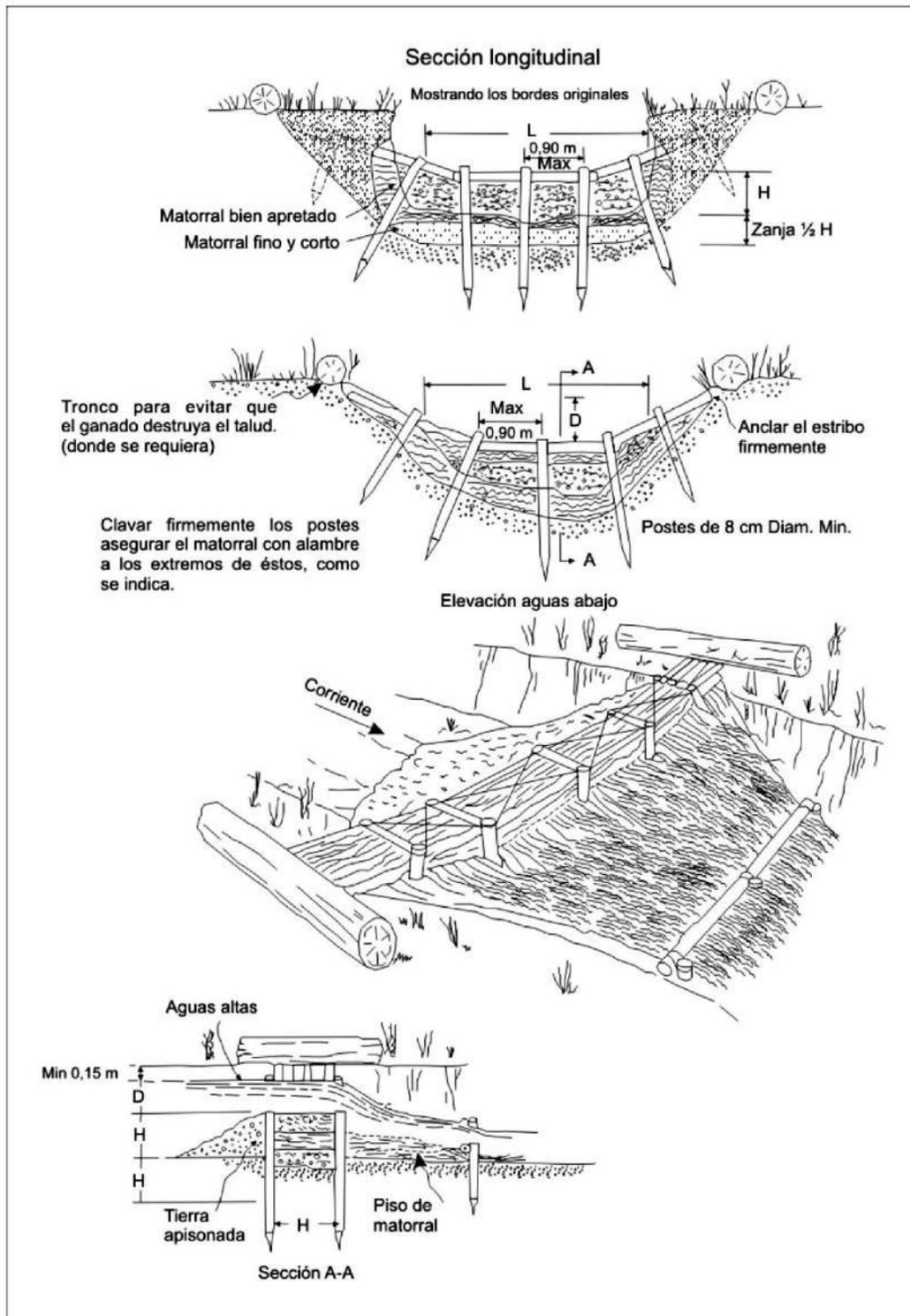


Figura 2. Trincho de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et ál., 1964).

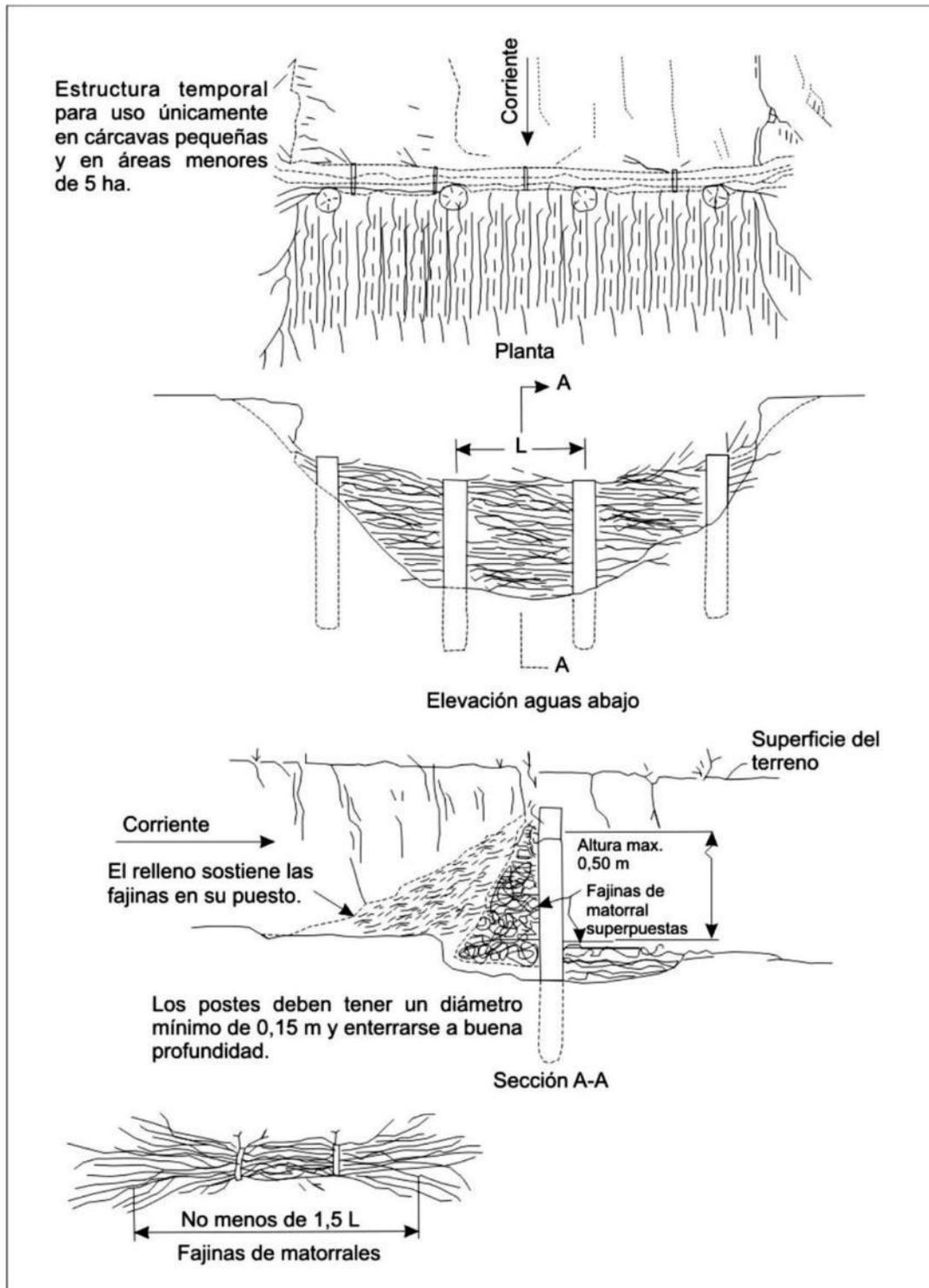


Figura 3. Trincho de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et ál., 1964).

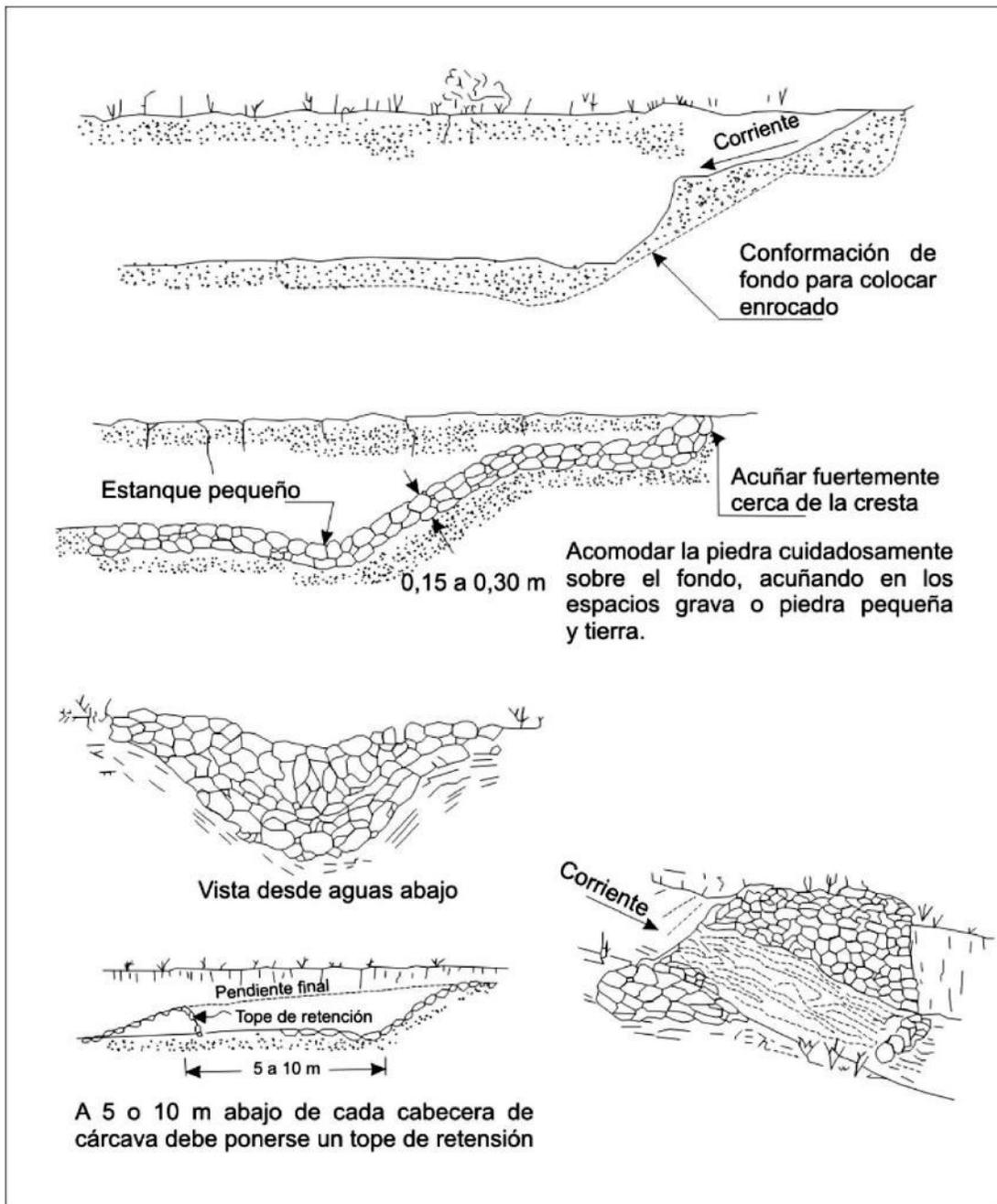


Figura 4. Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).

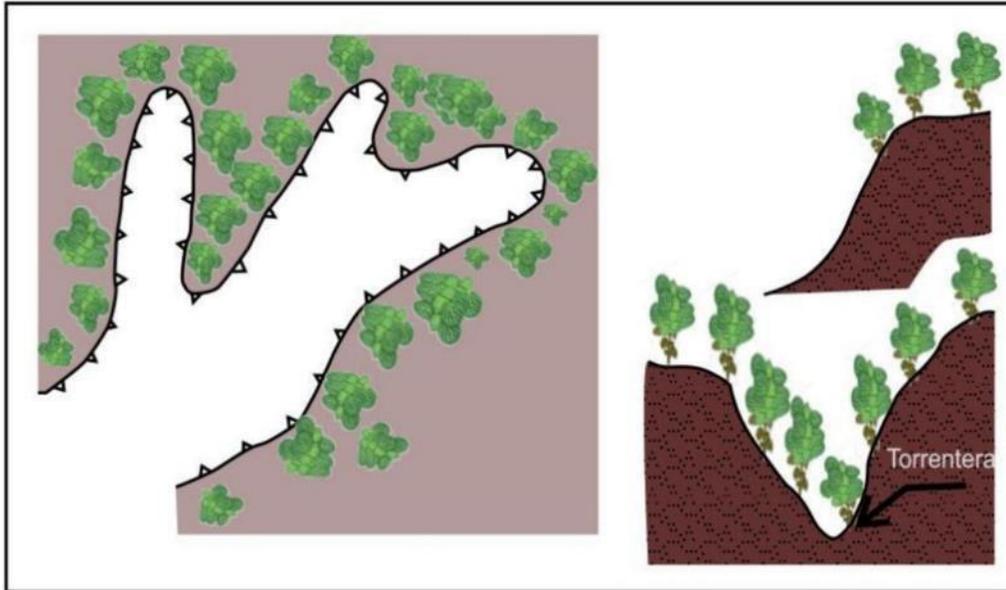


Figura 5. Vista en planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

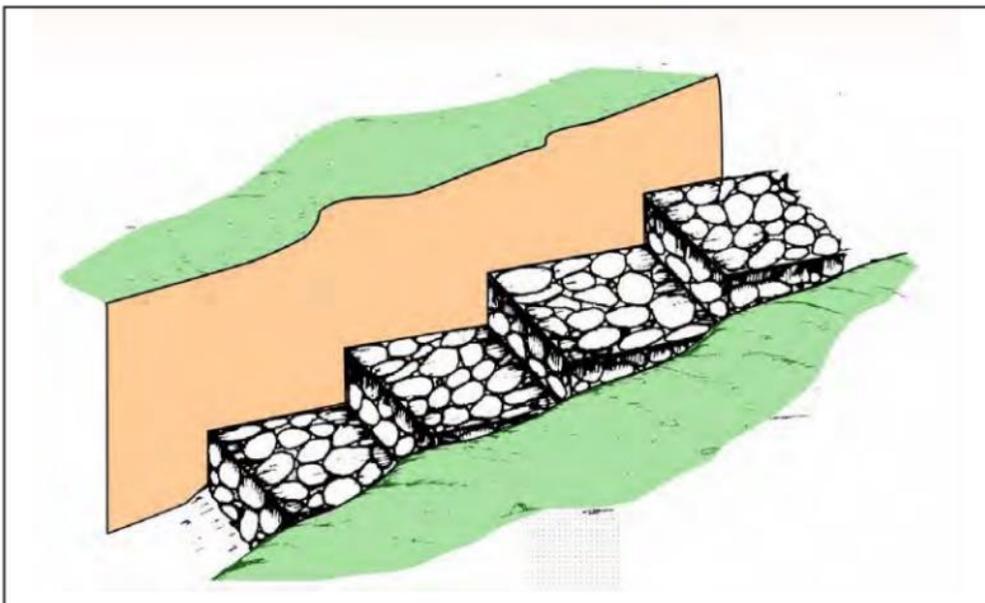


Figura 6. Protección del lecho de la quebrada con muros escalonados (andenes), utilizando bloques de roca o concreto armado.

Medidas para deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas

Las medidas correctivas se pueden realizar en: taludes en construcción, laderas que tienen pendientes fuertes y es necesaria su estabilización, y en la estabilización de fenómenos de rotura, sobre todo aquellos que pueden trabajarse a nivel de construcción. Para definir la solución ideal, es necesario valorar diferentes parámetros, sean de tipo constructivo o económico.

a. Corrección por modificación de la geometría del talud

Cuando un talud es inestable o su estabilidad es precaria, se puede modificar su geometría con el objetivo de obtener una nueva disposición que resulte estable. Esta modificación busca lograr al menos uno de los dos efectos siguientes:

- Disminuir las fuerzas que tienden al movimiento de la masa.
- Aumentar la resistencia al corte del terreno mediante el incremento de las tensiones normales en zonas convenientes de la superficie de rotura.

Lo primero se consigue reduciendo el volumen de la parte superior del deslizamiento, mientras que lo segundo se logra incrementando el volumen en el pie del mismo.

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, lo que comprueba que la nueva configuración no es inestable.

Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área, el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello, la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Construcción de escolleras en el pie del talud. Puede efectuarse en combinación con el descabezamiento del talud o como medida independiente (Figuras 7 y 8).

El peso de la escollera en el pie del talud se traduce en un aumento de las tensiones normales en la parte baja de la superficie del deslizamiento, lo que aumenta su resistencia. Este aumento depende del ángulo de rozamiento interno en la parte inferior de la superficie

del deslizamiento. Si es elevado, el deslizamiento puede producirse por el pie, y es más ventajoso construir la escollera encima del pie del talud; de esta manera, se pueden estabilizar grandes masas deslizantes mediante pesos relativamente pequeños de escollera. Si el ángulo de rozamiento interno es bajo, el deslizamiento suele ocurrir por la base y es también posible colocar el relleno frente al pie del talud. En cualquier caso, el peso propio de la escollera supone un aumento del momento estabilizador frente a la rotura.

Por último, cuando la línea de rotura se ve forzada a atravesar la propia escollera, esta se comporta, además, como un elemento resistente propiamente dicho.

Un aspecto que debe tomarse en cuenta constantemente es que la base del relleno debe ser siempre drenante, pues, en caso contrario, su efecto estabilizador puede verse disminuido, especialmente si el relleno se apoya sobre material arcilloso. Puede ser necesario colocar un material con funciones de filtro entre el relleno drenante y el material del talud, para ello puede recurrirse al empleo de membranas geotextiles.

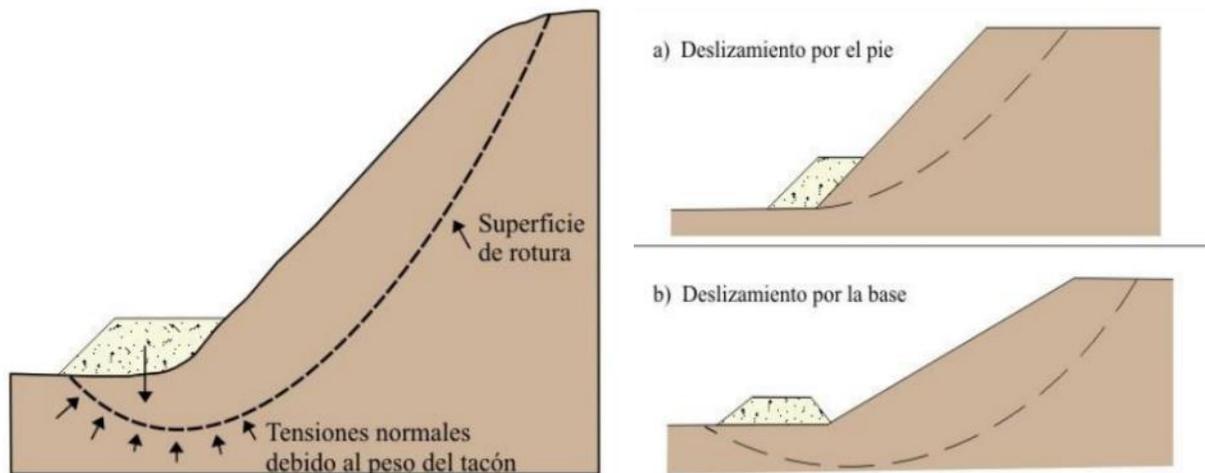


Figura 8. Colocación de escollera. Tomado de Ingemmet (2000).

llera sobre la
de Ingemmet

Tratamiento de taludes con escalonamiento. Es una medida que puede emplearse tanto cuando un talud está comprometido por un deslizamiento o antes de que este se produzca. Su uso es aconsejable porque facilita el proceso constructivo y las operaciones del talud, retiene las caídas de fragmentos de roca, indeseables en todos los casos, y si se coloca en ellos zanjas de drenaje; entonces, se evacuarán las aguas de escorrentía disminuyendo su efecto erosivo y el aumento de las presiones intersticiales (Figura 9).

Este escalonamiento se suele disponer en taludes en roca, sobre todo cuando es fácilmente meteorizable y cuando es importante evitar las caídas de fragmentos de roca, como es el caso de los taludes ubicados junto a vías de transporte.

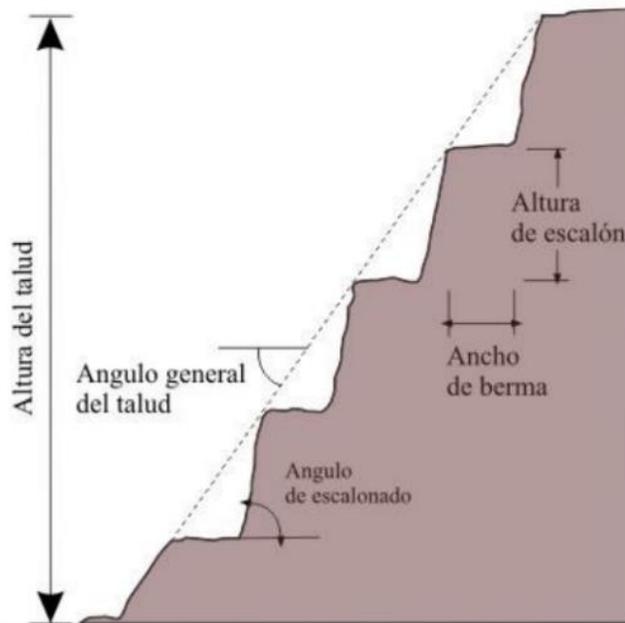


Figura 9. Esquema de un talud con bermas intermedias. Tomado de Ingemmet (2000).

b. Corrección por drenaje

Este tipo de corrección se efectúa con el objeto de reducir las presiones intersticiales que actúan sobre la superficie de deslizamiento (sea potencial o existente), lo que aumenta su resistencia y disminuye el peso total, y por tanto las fuerzas desestabilizadoras.

Las medidas de drenaje son de dos tipos: Drenaje superficial y drenaje profundo. Los cuales se detallan a continuación:

Drenaje superficial. Su fin es recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud, evitándose su infiltración (Figura 10).

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. El cálculo de la sección debe hacerse con los métodos hidrológicos.

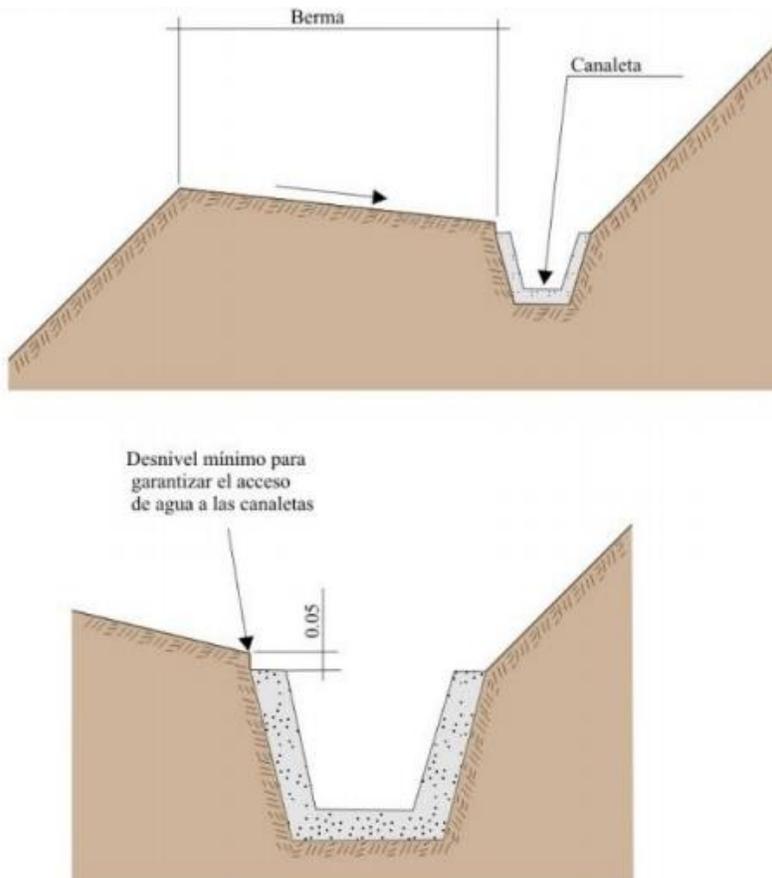


Figura 10. Detalle de una canaleta de drenaje superficial. Tomado de Ingemmet (2000).

Drenaje profundo. La finalidad es deprimir el nivel freático con las consiguientes disminuciones de las presiones intersticiales. Para su uso es necesario conocer previamente las características hidrogeológicas del terreno.

Se clasifican en los siguientes grupos:

Drenes horizontales. Perforados desde la superficie del talud, llamados también drenes californianos. Consisten en taladros de pequeño diámetro, aproximadamente horizontales, entre 5° y 10°, que parten de la superficie del talud y que están generalmente contenidos en una sección transversal del mismo (Figuras 11 y 12).

Sus ventajas son:

- Su instalación es rápida y sencilla.
- El drenaje se realiza por gravedad.
- Requieren poco mantenimiento.
- Es un sistema flexible que puede readaptarse a la geología del área.

Sus desventajas son:

- Su área de influencia es limitada y menor que en el caso de otros métodos de drenaje profundo.
- La seguridad del talud hasta su instalación puede ser precaria.

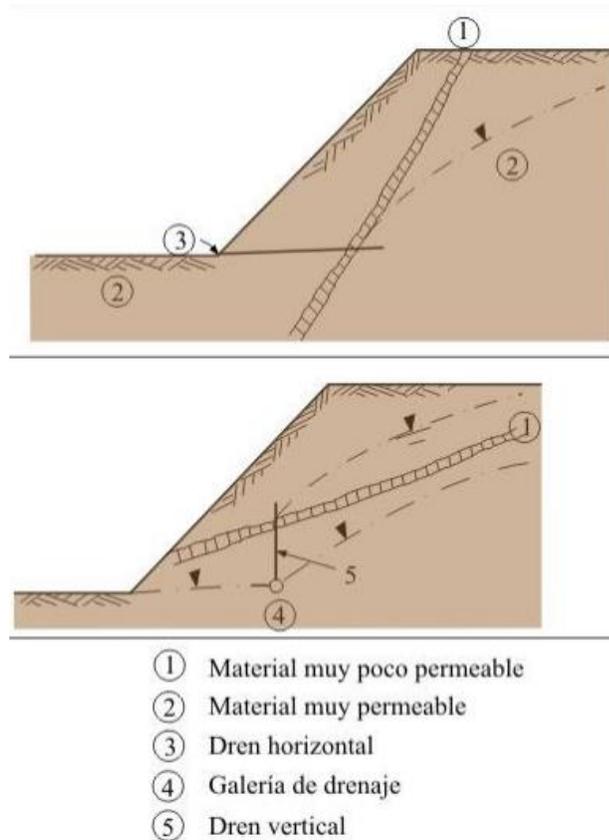


Figura 11. Disposición de sistema de drenaje de taludes no homogéneos. Tomado de Ingemmet (2000).

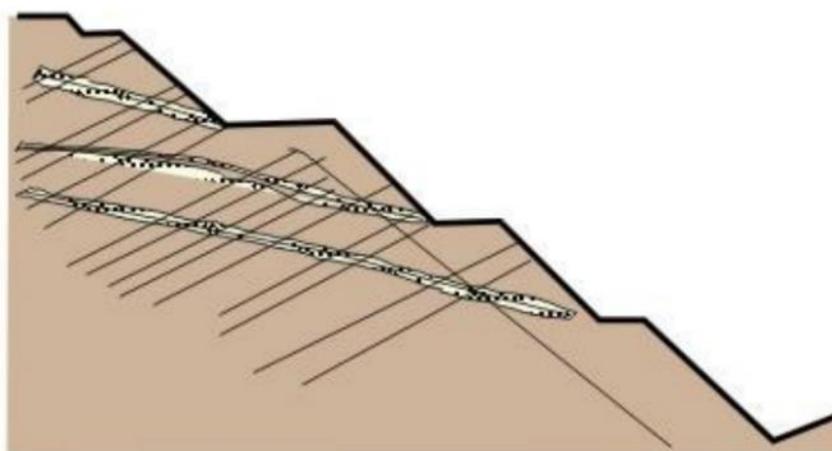


Figura 12. Esquema de drenaje de un talud por medio de drenes californianos (López García, 1984).

c. Corrección por elementos resistentes

Muros. Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (Figura 13). En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (Figura 14). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes.

En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado.

Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro.

Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos.

Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte.

En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza.

La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

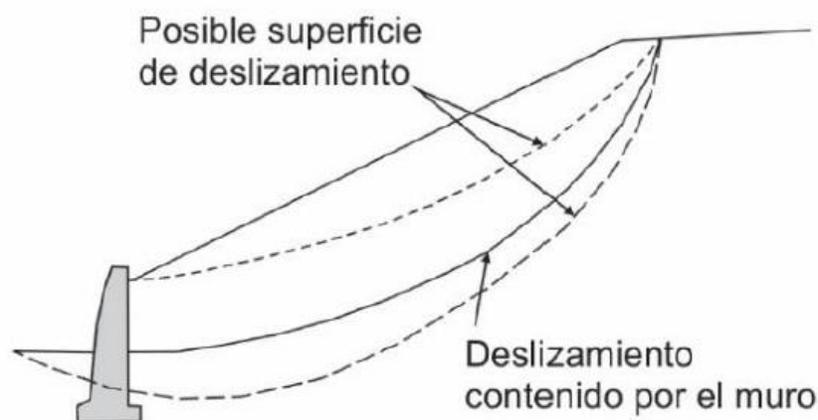


Figura 13. Contención de un deslizamiento mediante un muro.
Tomado de Ingemmet (2000).

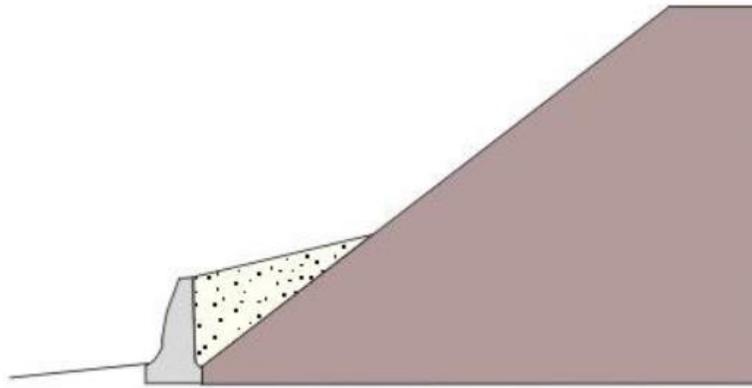


Figura 14. Relleno estabilizador sostenido por el muro. Tomado de Ingemmet (2000).

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (Figura 15):

- Muros de sostenimiento: Se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente.
- Muros de contención: Generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro.
- Muros de revestimiento: Su misión consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

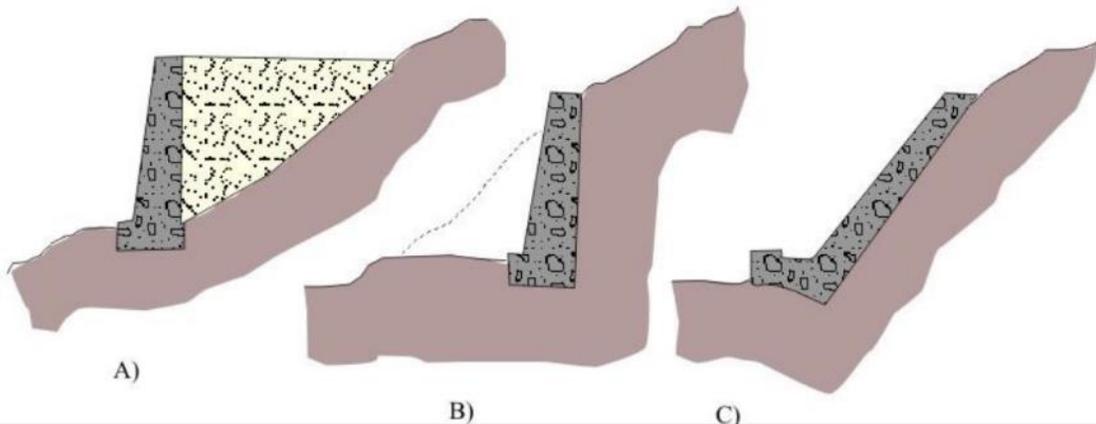


Figura 15. A) Muro de sostenimiento B) Muro de contención C) Muro de revestimiento. Tomado de Ingemmet (2000).

Las comprobaciones que deben efectuarse en un caso típico son las siguientes:

- Estabilidad general del sistema muro-terreno al deslizamiento; la estabilidad general del muro incluye la estabilidad al vuelco y al deslizamiento.
- Resistencia del terreno del cimiento.
- Ausencia de tracciones en la base del muro.
- Resistencia estructural: Se ha de comprobar que las tensiones máximas en el muro no sobrepasen los valores admisibles.

Tipos de muros

Muros de gravedad: Son los muros más antiguos, son elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (Figuras 16, 17 y 18).

Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y el bajo costo.

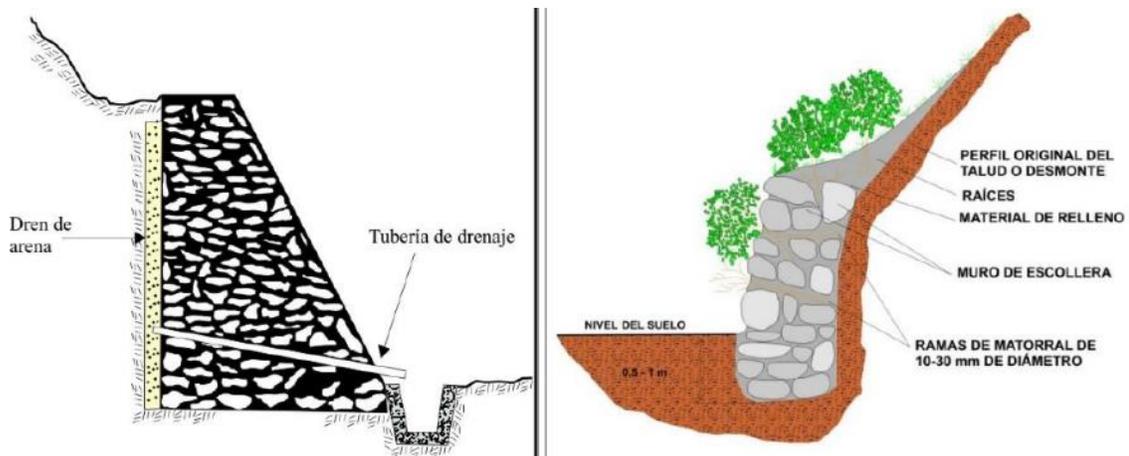


Figura 16. A) Muros de gravedad de piedra seca. B) Muros de gravedad de piedra argamasada. Tomado de Ingemmet (2000).

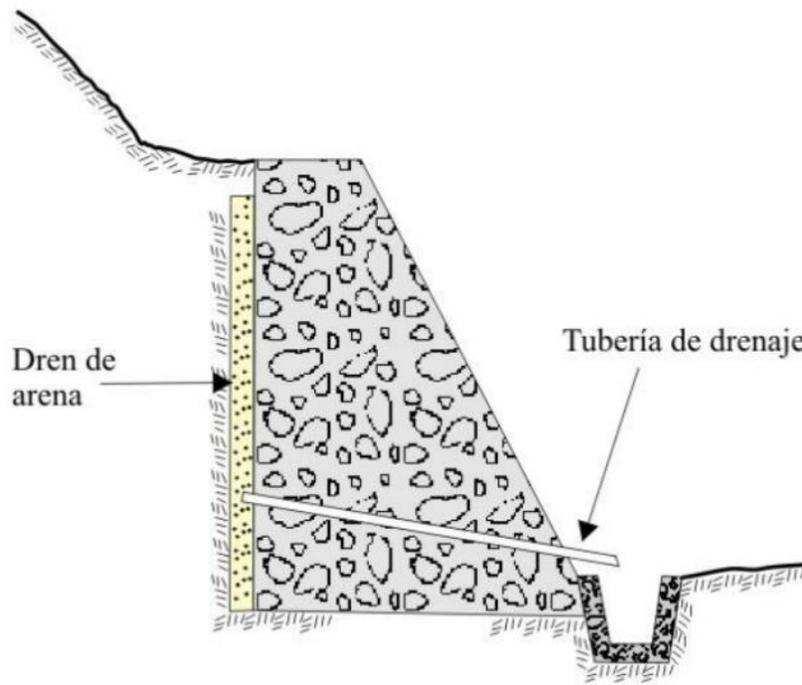


Figura 17. Muros de gravedad de concreto ciclópeo. Tomado de Ingemmet (2000).

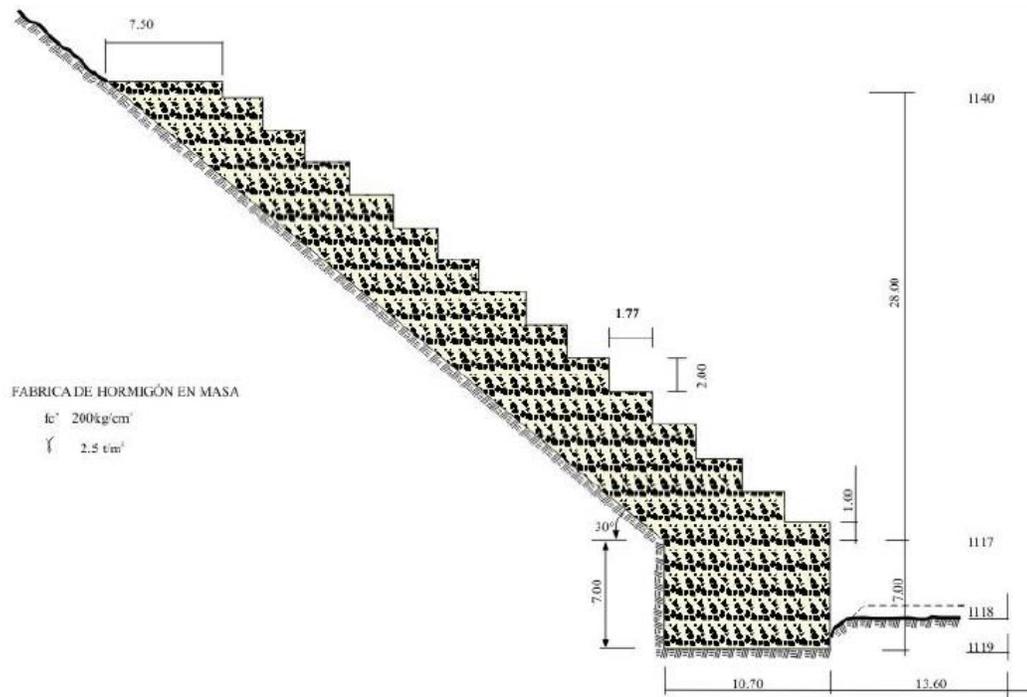


Figura 18. Muros de espesor máximo. Tomado de Ingemmet (2000).

Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (Figura 19).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo es muy variable, y suele estar comprendida entre 1,7 a 2,4.

Las ventajas que presenta son:

- Instalación rápida y sencilla.
- Son estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- No tienen problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

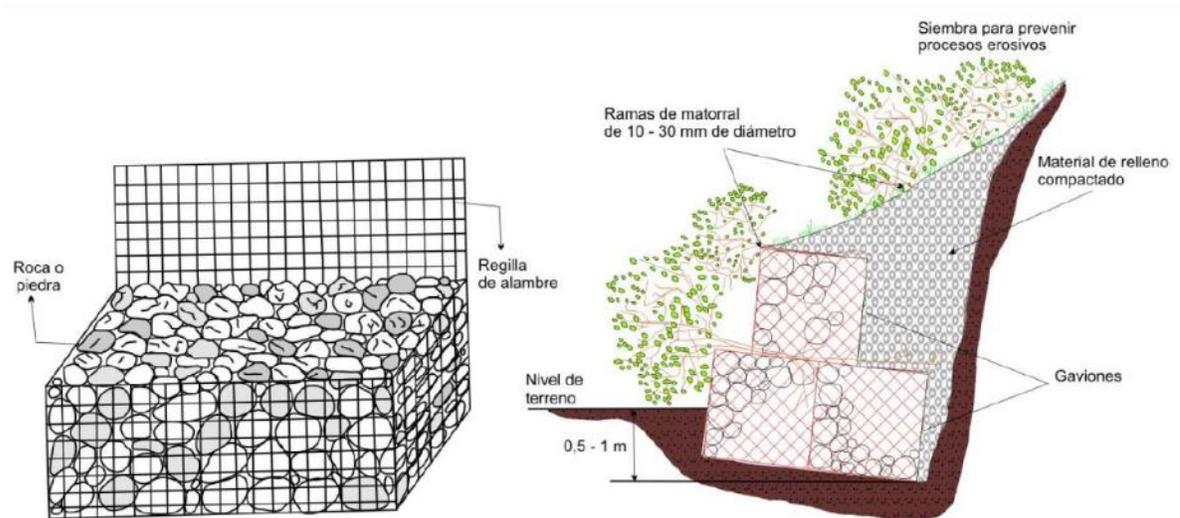


Figura 19. Muro de gavión.

d. Correcciones superficiales

Las medidas de corrección superficiales se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno y tienen fundamentalmente los siguientes fines:

- Evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud.
- Eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan.
- Aumentar la seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales.

Los principales métodos empleados son:

Mallas de alambre metálico

Se cubre con ellas la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud.

Las mallas de fierro galvanizado retienen los fragmentos sueltos de rocas y conducen los trozos desprendidos hacia una zanja en el pie del talud. Son apropiados cuando el tamaño de roca a caer se encuentra entre 0,60 y 1,00 m.

La malla se puede fijar al talud de varias maneras: siempre en la parte superior del talud o en bermas intermedias. Como sistemas de fijación pueden emplearse bulones, postes introducidos en bloques de hormigón que pueden a su vez ir anclados o simplemente un peso muerto en la parte superior del talud. Durante la instalación se prepara una longitud de malla suficiente para cubrir el talud, con una longitud adicional que es necesaria para la fijación de la malla.

La malla se transporta en rollos hasta el talud, se fija en su parte superior y se desenrolla dejándola caer simplemente, fijándola en la superficie del talud; en la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de piedras.

Sembrado de taludes

Mantener una cobertura vegetal en un talud produce indudables efectos beneficiosos, entre los cuales destacan los siguientes:

- Las plantaciones evitan la erosión superficial tanto hídrica como eólica, que puede ocasionar la ruina del talud en el largo plazo.
- La absorción de agua por las raíces de las plantas produce un drenaje de las capas superficiales del terreno.
- Las raíces de las plantas aumentan la resistencia al esfuerzo cortante en la zona del suelo que ocupan.

Para sembrar en taludes se emplean hierbas, arbustos y árboles, privilegiando especies capaces de adaptarse a las condiciones a las que van a estar sometidos (climas, tipo de suelo, presencia de agua, etc.); suelen convenir especies de raíces profundas y de alto grado de transpiración, lo que indica un mayor consumo de agua. Generalmente la colonización vegetal de un talud se hace por etapas, comenzando por la hierba y terminando por los árboles.

Es conveniente no dejar un talud muy plano, sino con salientes que sirvan de soporte, así cuando más tendido sea un talud resultará más fácil que retenga la humedad. Para mantener una cubierta vegetal es más favorable un terraplén que un desmonte.

Los suelos arenosos y areno-arcillosos son ventajosos para un rápido crecimiento de la hierba. Las arcillas duras son inadecuadas a menos que se añadan aditivos o se are el terreno. Cuando la proporción de limo más arcilla es superior al 20% se puede esperar un crecimiento satisfactorio, pero si es inferior al 5% el establecimiento y mantenimiento de la hierba resultarán difíciles.

Otras medidas de prevención para deslizamientos y cárcavas

El proceso de deslizamientos y cárcavas ocurre esencialmente de forma natural, pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso. Asimismo, dicho proceso ocurre por el socavamiento del río al pie de deslizamientos, la utilización de canales sin revestir, etc. Algunas medidas que se proponen para el manejo de estas zonas son:

- Respecto del manejo agrícola, se debe evitar riegos en exceso. Estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- El sistema de cultivo debe ser por surcos en contorno y conectados al sistema de drenaje para una evacuación rápida del agua.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece a la infiltración y saturación del terreno.
- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial, pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- En la cuenca alta, se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Los tramos de carretera que cruzan cauces de quebradas, donde se producen deslizamientos, deben ser protegidos por medio de gaviones para evitar los efectos de los huaicos y el socavamiento producido por avenidas en las quebradas. Los gaviones deben ser contruidos teniendo en cuenta los caudales máximos de las quebradas, y deben ser cimentados a una profundidad de 1 m como mínimo.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.

Mitigación para inundación y erosión fluvial

Para disminuir los daños por inundaciones, se hace necesario aplicar las siguientes medidas:

- Encauzamiento del lecho principal, ríos y quebradas afluentes, en zonas donde se produzcan socavamientos laterales de las terrazas aledañas. Con este fin, se deben construir espigones laterales, enrocado o gaviones (Figura 20) para aumentar la capacidad de tránsito en el cauce de la carga sólida y líquida durante las crecidas y limpiar el cauce.

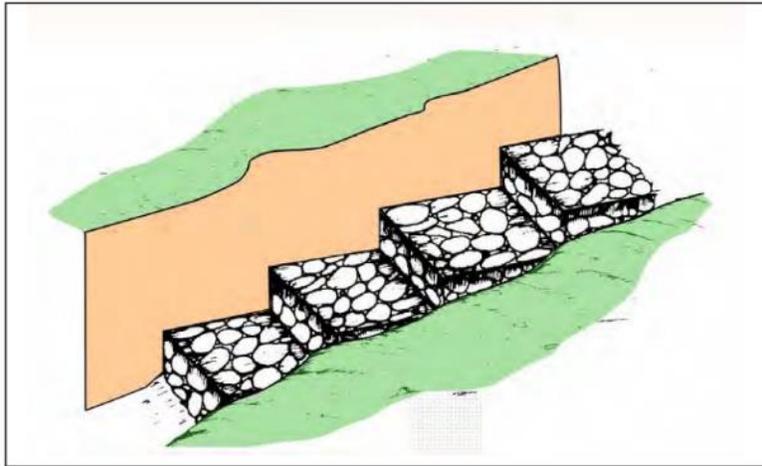


Figura 20. Gaviones para encauzar el lecho del río.

- Protección de las terrazas fluviales de los procesos de erosión fluvial por medio diques de defensa o espigones (Figura 21), que ayudan a disminuir el proceso de arranque y desestabilización.

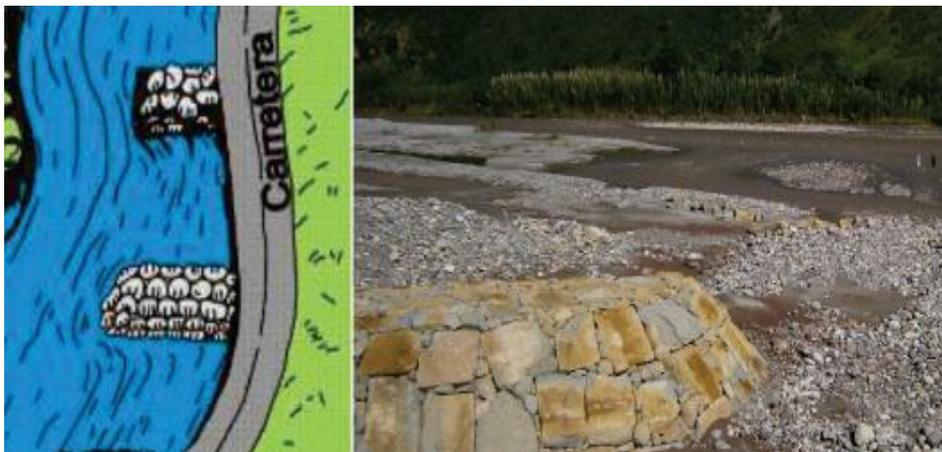


Figura 21. Espigones para proteger las terrazas fluviales.

- Realizar trabajos que propicien el crecimiento de bosques ribereños con especies nativas (molle, sauce, carrizos, caña brava); pero evitar la implantación de cultivos en el lecho fluvial para que no interrumpa el libre discurrir de los flujos hídricos.