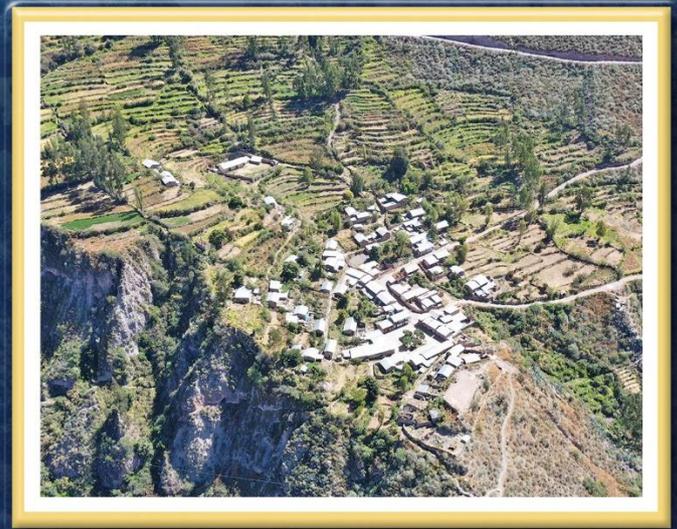
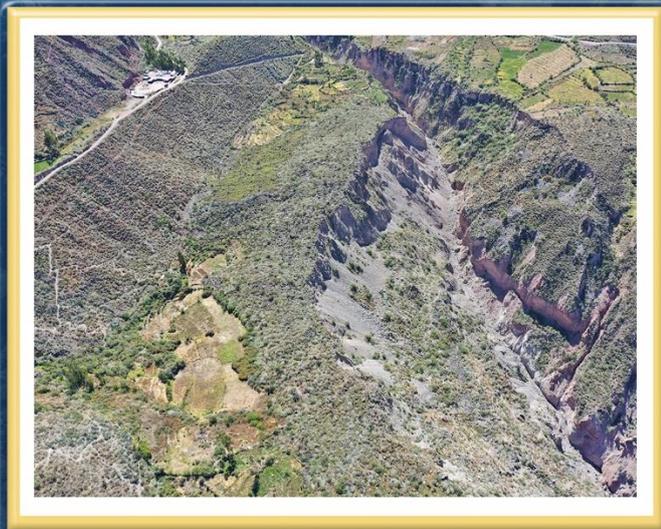


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7516

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO ANDAMARCA

Departamento: Arequipa
Provincia: La Unión
Distrito: Charcana



JUNIO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO ANDAMARCA

Distrito Charcana, Provincia La Unión, Departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Yeny Ccorimanya Challco

Referencia bibliográfica

Soncco Y., & Ccorimanya Y. (2024). Evaluación de peligros geológicos en el anexo Andamarca, distrito Charcana, provincia La Unión, departamento Arequipa: Informe técnico N° A7516, 37p. INGEMMET.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos del estudio	1
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	1
1.3. Aspectos generales	2
1.3.1. Ubicación	2
1.3.2. Accesibilidad	3
1.3.3. Precipitación pluvial	3
1.3.4. Población	4
2. DEFINICIONES	4
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	7
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
4.1 Pendiente del terreno	9
4.2 Unidades geomorfológicas	9
4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos	10
4.2.2 Geformas de carácter depositacional o agradacional	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	11
6.1 Peligros geológicos por movimientos en masa	12
6.2 Otros peligros geológicos - Procesos de erosión de ladera (cárcavas)	14
6.3 Factores condicionantes	14
6.4 Factores desencadenantes	14
6. CONCLUSIONES	16
7. RECOMENDACIONES	17
BIBLIOGRAFÍA	18
ANEXO 1: MAPAS	19
ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	24

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el anexo Andamarca, en el distrito de Charcana, provincia La Unión, departamento Arequipa. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

Litológicamente en el área afloran las siguientes unidades: **a)** Formación Labra, constituido por areniscas cuarcíticas y cuarcitas, **b)** Formación Hualhuani, conformado por areniscas cuarcíticas y cuarcitas con estratificación cruzada, **c)** Formación Murco, presenta arcillitas de diferentes colores y areniscas blancas o amarillentas. Las tres formaciones antes mencionadas se encuentran moderadamente meteorizadas y mediamente fracturadas. **d)** Formación Arcurquina, está compuesta por calizas de color gris, estructuralmente se halla muy fracturado, además de presentar un moderado grado de meteorización. También, afloran depósitos cuaternarios poco consolidados, **e)** coluvio deluvial, **f)** aluvial, **g)** coluvial y **h)** proluvial.

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el anexo Andamarca son: deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujo de detritos (huaicos) y procesos de erosión de ladera. En inmediaciones de Andamarca se identificaron cinco deslizamientos rotacionales, principalmente ubicados en la parte baja de la zona urbana. **Dr3** es un evento que posee 700 m de longitud, está ubicado entre las cotas 2612 y 2508, es decir posee un desnivel de 104 m, y el salto del escarpe es de 34 m. Asimismo, se identificaron flujos de detritos (huaicos) y procesos de erosión fluvial en el cauce de las quebradas Huasihuayco, Challallauaca y Sanucante

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** rocas meteorizadas y mediamente fracturadas de las formaciones Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina y depósitos cuaternarios no consolidados, **b)** pendiente variable de llano a inclinado suavemente (1°-5°) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes (25°-45°), y escarpadas (>45°).

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la zona urbana del anexo Andamarca es considerado de **Peligro Alto**, en quebradas cercanas se pueden generar flujo de detritos (huaico), derrumbes, deslizamiento, caída de rocas y erosión de ladera.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: Cambiar las técnicas de riego con asesoramiento especializado, para disminuir el avance de los deslizamientos y/o para evitar la activación de los deslizamientos en la zona. Evitar alterar las condiciones normales de los suelos en el anexo Andamarca, para mantener el grado de peligrosidad.

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 (ACT11)”, 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 del gobierno regional de Arequipa, según Oficio N° 679-2022-GRA/ORGRDDN; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el anexo Andamarca, del distrito de Charcana.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Yhon Soncco Calsina y Yeny Ccorimanya Challco, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan la zona urbana. Los trabajos de campo se realizaron del 10 al 15 de julio del 2023.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Charcana e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Tipificar y caracterizar el peligro geológico que se presentan en el anexo Andamarca; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, vías de comunicación y en el peor de los casos hasta vidas humanas.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. Menciona que el trazo de la carretera Andamarca – Charcana, es susceptible a erosión de ladera, caída de rocas y derrumbes. El área presenta substrato de mala calidad, conformado por intercalación de limoarcillitas abigarradas, presencia de yeso y sal; laderas con pendiente muy fuerte y vegetación nula. Además, se tienen depósitos coluvio-deluviales, relacionados con deslizamientos, este presenta una longitud de arranque de 1600 m, altura de 100 m, bloques aislados menores a 2 m. Los factores desencadenantes son las precipitaciones pluviales y sismos.

- b) Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. Andamarca es una zona susceptible a derrumbes, flujo de detritos y erosión de laderas. Causas: Substrato de mala calidad conformado por intercalación de limoarcillitas abigarradas presencia de yeso y sal, terreno con pendiente fuerte a muy fuerte, corte de talud. Los factores desencadenantes para los derrumbes son las precipitaciones pluviales y sismos. Las erosiones de ladera alimentan con material suelto los cauces de las quebradas con presencia de lluvia podría generar flujos.
- c) Pecho, V. (1983). Geología del cuadrángulo de Pausa(31-p), Carta Geológica a escala 1:100 000. Hace una descripción de la Formación Arcurquina, que está compuesta por calizas de color gris.
- d) Zavala, B. (2017). Aspectos geológicos del valle y cañón de Cotahuasi. (reserva paisajística subcuenca de Cotahuasi provincia La Unión, departamento Arequipa). La subcuenca de Cotahuasi, reserva paisajística, alberga una diversidad geológica, con predominio desde el punto de vista litológico de unidades volcánicas (lavas y piroclastos), sedimentarias, intrusivas y metamórficas.
- e) El mapa geológico integrado del Perú versión 2022, a escala 1:50 000. En el anexo de Andamarca, se tienen afloramientos de rocas sedimentarias, entre areniscas y lutitas.
- f) Benavente, C., Delgado, F., García, B. & Aguirre, E. (2015). Formación de cañones en los Andes Peruanos: Colca y Cotahuasi, departamento Arequipa. Resúmenes de Ponencias. Primer Simposio Nacional de Geoparques: patrimonio geológico y Geoturismo, Arequipa-Perú, Julio 2015. p. 36-38. Realizó un corte topográfico latitudinal se puede observar, que a partir de la latitud 16°S el relieve de la cadena andina se vuelve más abrupto y alto, este cambio coincide con la presencia de la Dorsal de Nazca (al norte de la latitud 16°S) y con la presencia de volcanes cuaternarios.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al anexo Andamarca, ubicado en el distrito Charcana, provincia La Unión, departamento Arequipa (figura 1); en las coordenadas siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del área evaluado en el anexo Andamarca.

Punto	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	713559	8317157	-15.212869°	-73.011908°
2	715424	8317157	-15.212706°	-72.994554°
3	715425	8315153	-15.230822°	-72.994373°
4	713562	8315146	-15.231039°	-73.011701°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Punto Central	714259	8316207	-15.221395°	-73.005308°

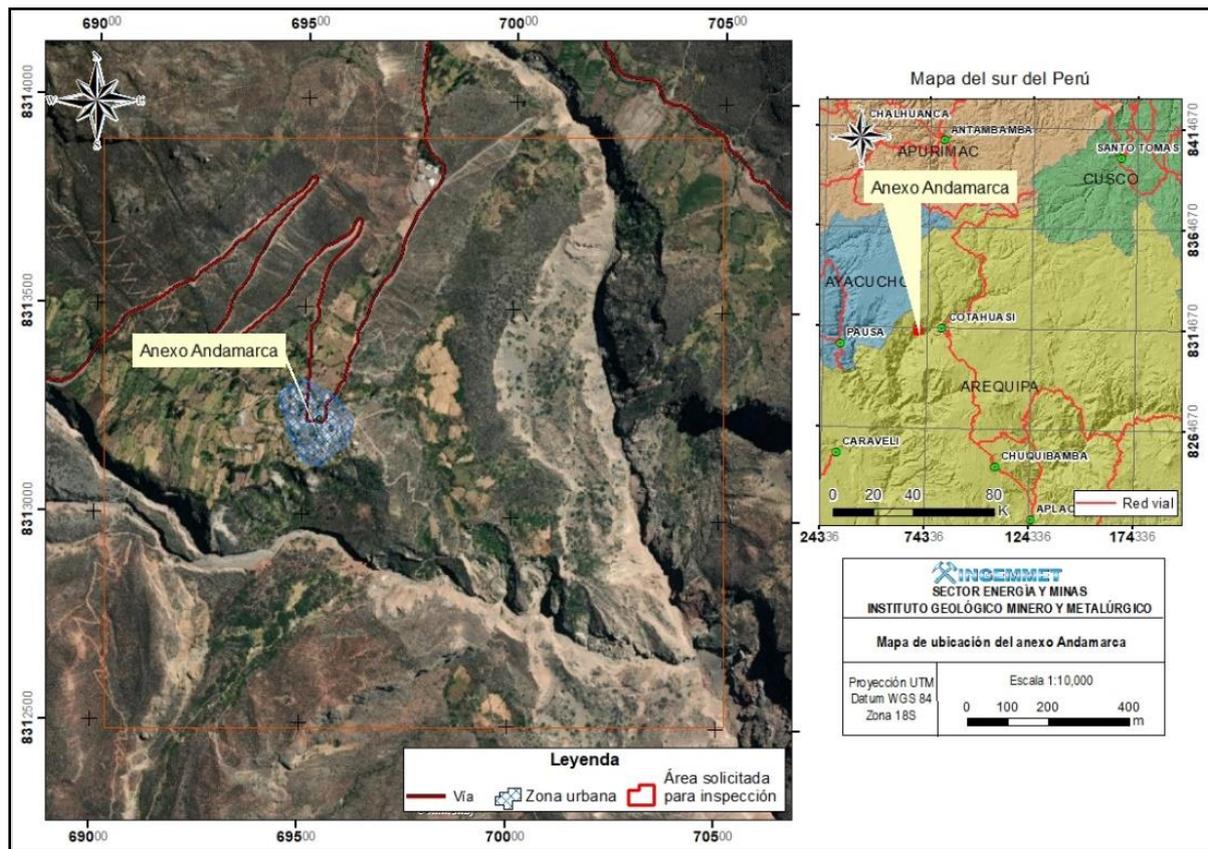


Figura 1. Ubicación del anexo Andamarca en el distrito de Charcana.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al anexo Andamarca es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, y se sigue la siguiente ruta:

Tabla 2. Ruta de acceso al anexo de Andamarca

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Aplao	Asfaltada	178	3 horas y 10 min
Aplao – Cotahuasi	Asfaltada	191	4 horas
Cotahuasi - Andamarca	Asfaltada	19	40 min

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). De acuerdo a datos de las estaciones meteorológicas Cotahuasi, ubicado cerca al área evaluado. Cuyos valores de precipitación se muestran en el (figura 2). Se visualiza una data de una ventana de tiempo de más de 25 años. a

- En la estación de Cotahuasi, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 57 mm.

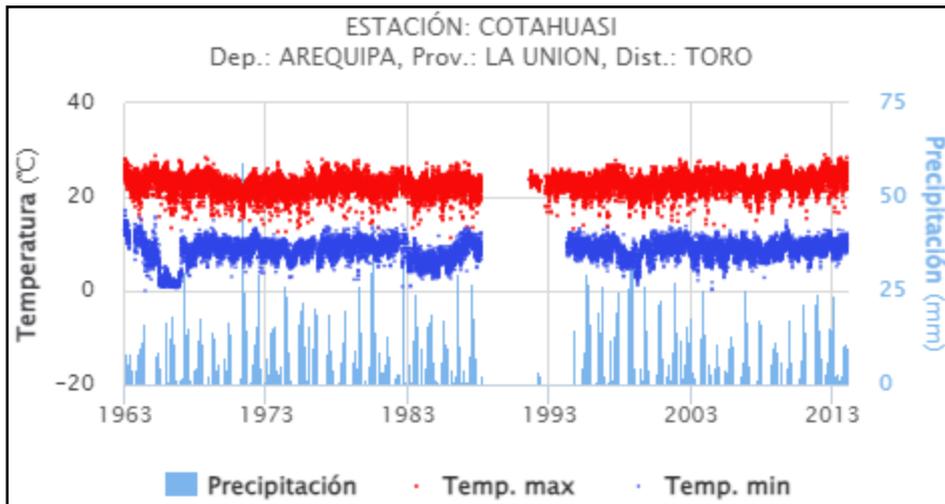


Figura 2. Precipitación diaria según la estación Cotahuasi. Fuente: Senamhi.

1.3.4. Población

El distrito Charcana es uno de los distritos menos poblado de la provincia La Unión, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 577 personas (figura 3).

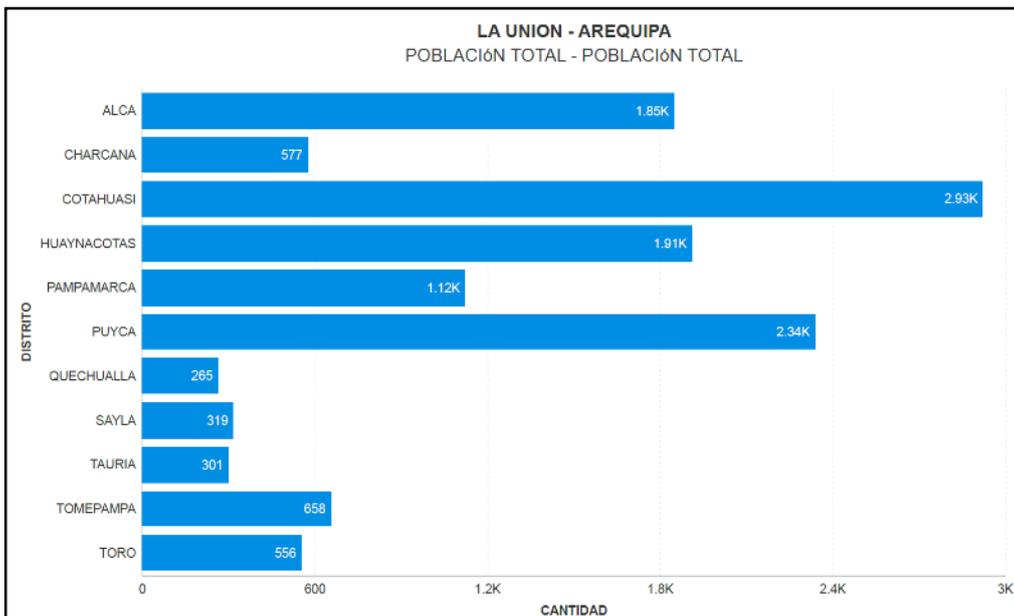


Figura 3. Población de la provincia de La Unión "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos. En el informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la

evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

AGRIETAMIENTO (cracking): Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

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

DESLIZAMIENTO (slide): Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

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

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

CAIDAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede 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 & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de

agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

LAHARES: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

CÁRCAVAS: La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló con base a la Geología del cuadrángulo de Pausa(31-p), Pecho., V. (1983). Carta Geológica a escala 1:100 000 y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET, el cual es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000.

La geológica se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aérea y observaciones de campo. (Anexo 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

En el área evaluada, desde lo más antiguo al más reciente, se tienen rocas y depósitos, que se detalla líneas abajo. Se ha tomado como base el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET

Formación Labra - Js-I3: Constituido por areniscas, areniscas cuarcíticas y cuarcitas, son de color gris claro a pardusco, por la meteorización presenta color amarillo rojizas y rosado parduscas. Forman capas de grosor variable y generalmente muestran estratificación cruzada y restos de plantas. Están intercaladas con arcillitas negras, que hacia la base son gris oscuras o carbonosas. La edad de estas rocas es Jurásico Superior (Davila et al., 2010).

Se presentan moderadamente meteorizada y mediamente fracturada. Son susceptibles a la generación de caídas de rocas.

Formación Hualhuani (Ki-hu3): Se tienen areniscas cuarcíticas y cuarcitas de grano grueso, de color blanco que por la meteorización se torna rojo amarillento claro. Las rocas de la Formación Hualhuani forman generalmente bancos gruesos, a excepción de la parte media, donde son delgados; y en todos ellos es frecuente la estratificación cruzada y la presencia de restos vegetales.

En algunos sectores las areniscas son algo friables, de color pardo claro a violáceo y de grano variable y se intercalan con cuarcitas violáceas de grano fino. Tiene un espesor aproximado de 80 m. La edad de estas rocas es Cretáceo inferior (Davila et al., 2010).

En el área de estudio, estas rocas se encuentran moderadamente meteorizada y mediamente fracturada. Son susceptibles a generar caídas de rocas y derrumbes.

Formación Murco (Ki-mu3): Constituido por arcillitas de diferentes colores y areniscas blancas o amarillentas. En las areniscas blancas se puede observar nítidamente los granos de cuarzo, aunque la unidad muestra bastante oxidación.

La Formación Murco descansa concordante sobre las areniscas blancas de la Formación Hualhuani, con igual relación infrayace a las calizas de la Formación Arcurquina. Su espesor llega hasta 250 metros.

La Formación Murco es equivalente a los afloramientos del área de Arequipa, descritos por Jenks (1948), así como también de las Formaciones Huancané de la región del Lago Titicaca, Farrat y del Grupo Goyllarisquizga del Norte y Centro del Perú. La edad de estas rocas es Cretáceo inferior (Davila et al., 2010).

En el área de estudio, estas rocas se encuentran moderadamente meteorizada y mediamente fracturada. Son susceptibles a deslizamientos y derrumbes.

Formación Arcurquina (Kis-a3): Nombre dado por Jenks (1948) para describir un conjunto de calizas que afloran en los valles adyacentes al cerro Arcurquina, situado a 11 km al SE del pueblo Huanca, departamento de Arequipa (Salas et al., 2003).

En la zona de estudio, la Formación Arcurquina está compuesta por calizas de color gris, se presentan en estratos gruesos que llegan hasta 2 m de espesor.

Estructuralmente el macizo rocoso de la Formación Arcurquina se halla muy fracturado y diaclasado, además de presentar un moderado grado de meteorización. Son susceptibles a generar caída de rocas.

Depósito coluvio deluvial – Qh-cd: Están formados por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), estos se encuentran interestratificados y no es posible diferenciarlos. Se presenta en el cuerpo de los deslizamientos en el sector Andamarca. El depósito es poco consolidado.

Depósito aluvial (Qh-al): Acumulaciones de sedimentos inconsolidados por cantos subredondeados, heterogéneos, envueltos en una matriz de limos y arcillas, transportados por los ríos formando barras. Grava subangulosas a subredondeadas con una matriz areno-limosa. El depósito poco consolidado.

Depósito coluvial (Qh-col): Material originado por la acción de la gravedad, se acumulan en vertientes, como también en laderas superiores;

En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a ser removidos y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones detonadas por precipitaciones pluviales. También, pueden generarse por las modificaciones de sus taludes naturales.

Los depósitos coluviales se encuentran conformados por bloques heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, son de formas angulosas. Los más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores (arenas y limos) disminuyen gradualmente hacia el ápice.

Se encuentran sueltos poco cohesivos, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son la meteorización, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

Estos depósitos se encuentran en inmediaciones de las quebradas Huasihuayco, Challallauaca y Sanucante.

Depósito proluvial - Qh-pl: Son los que se encuentran en los cauces de las quebradas transportados por corrientes de agua generalmente proveniente de lluvia.

Son como resultado de los depósitos generados por flujos de detritos y flujos de lodo, llamados comúnmente como huaicos.

Se encuentra en las quebradas Huasihuayco, Challallauaca y Sanucante. Están constituidos por gravas, arenas y limos; los depósitos se encuentran poco consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°), en sectores encañonados pendientes muy escarpadas (>45°). (figura 2).

Se elaboró un mapa de pendientes con base en el modelo de elevación digital (DEM), de 3 m de resolución, elaborado a partir de imágenes satelitales (Anexo 1).



Figura 4. Pendientes en el anexo Andamarca.

Tabla 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte ha escarpado
>45	Muy escarpado

4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector evaluado, se ha empleado la publicación de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos

➤ Geoformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve se presenta en el mapa geomorfológico (Anexo 1).

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos

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). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades:

4.2.2.1 Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Esta subunidad geomorfológica ocupa la mayor parte del área estudiada. Presenta cerros con altura superior a 300 m desde su línea base, con laderas que presentan anticlinales y sinclinales. Presenta pendientes erosionadas que varían desde fuertes hasta abruptas (25° - 50°). Litológicamente está compuesta por secuencias sedimentarias jurásicas y cretácicas (areniscas y lutitas), las cuales se caracterizan por presentar derrumbes y deslizamientos.

Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs): Relieve con pendientes abruptas y erosionadas. Litológicamente están compuestas rocas de la Formación Arcurquina. Esta unidad es susceptible a generar caídas de rocas y deslizamientos.

Ladera de montaña en roca sedimentaria (LM-rs): Corresponde a los relieves de montañas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias afectadas por procesos tectónicos y erosivos, conformados por rocas de tipo areniscas arcillosas, arcillitas, limolitas, lodolitas, etc. Presentan laderas con pendientes fuertes a muy fuertes, se localizan distribuidos en las laderas en el sector Andamarca.

4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultado de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 Unidad de piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de las

laderas. El área agrícola y la zona urbana de Andamarca, está ubicada sobre esta subunidad geomorfológica.

Vertiente aluvio-torrencial (P-at): Es un relieve ubicado al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional. En el área de estudio está representado por depósitos proluviales ubicados en el cauce de las quebradas Huasihuayco, Challallauaca y Sanucante.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Se encuentra conformando las laderas, de deslizamientos a lo largo de los valles. En la zona evaluada, esta subunidad geomorfológica aflora en la parte baja del anexo Andamarca. Está conformada por depósitos de deslizamientos.

Vertiente o piedemonte aluvial (V-al): Unidad genética correspondiente a una planicie inclinada con topografía de glacis se extiende al pie de sistemas montañosos, y escarpes de altiplanicies, ha sido formado por la sedimentación de las corrientes de agua estacionales. Está constituido por sucesiones de abanicos aluviales y aluvio-deluviales, incluidos algunos conos de deyección de igual o diferente composición granulométrica. Se ubica en la zona central del área evaluado.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el anexo Andamarca, corresponden a movimientos en masa como deslizamientos, caída de rocas y derrumbes, como también procesos de erosiones de ladera. Tipificados según la clasificación de la guía para la evaluación de amenazas del Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007.

Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como por la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes (figura 3), 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. Coadyuvado por la alternancia de rocas de diferente competencia, así como la presencia de fallas geológicas, anticlinales, sinclinales, inestabilizando las laderas rocosas y depósitos de eventos antiguos (Anexo 1).



Figura 5. Incisión sufrida en los cursos de los ríos en la Cordillera de los Andes, sector Andamarca.

6.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

Deslizamiento

Los deslizamientos se ubican en la parte baja del anexo Andamarca. Se desarrollaron principalmente en los márgenes de las quebradas que cruzan el sector. (figura 4).

Dr1: Es el deslizamiento más antiguo del grupo de deslizamientos en este sector, posee una corona de 900 m de longitud, está ubicado entre las cotas 2728 y 2377, es decir posee un desnivel de 351 m, el alto del salto del escarpe es de 150 m.

Dr2: Se trata de un deslizamiento rotacional, presenta una reactivación en su cuerpo, el cual ha producido el asentamiento del terreno. Presenta una corona poco definida, posee una forma de u invertida y tiene 900 m de longitud, del pie a la corona posee 138 m de alto, comprendidos entre las cotas (2415 y 2277), además de una escarpa de forma poco regular continua, posee un salto principal de 38 m aproximadamente.

Dr3: Este deslizamiento presenta una corona de 1000 m de longitud, con un salto principal de 20 m. Está ubicado entre las cotas 2467 y 2266, es decir posee un desnivel de 201m.

Dr4: Es un deslizamiento rotacional, posee una corona de 700 m de longitud, está ubicado entre las cotas 2612 y 2508, es decir posee un desnivel de 104 m, el alto del salto del escarpe es de 34 m.

Dr5: Es un deslizamiento rotacional considerado inactivo latente, posee una corona de 1000 m de longitud, está ubicado entre las cotas 3065 y 2691, posee un desnivel de 374 m, el alto del salto del escarpe no está bien definido.

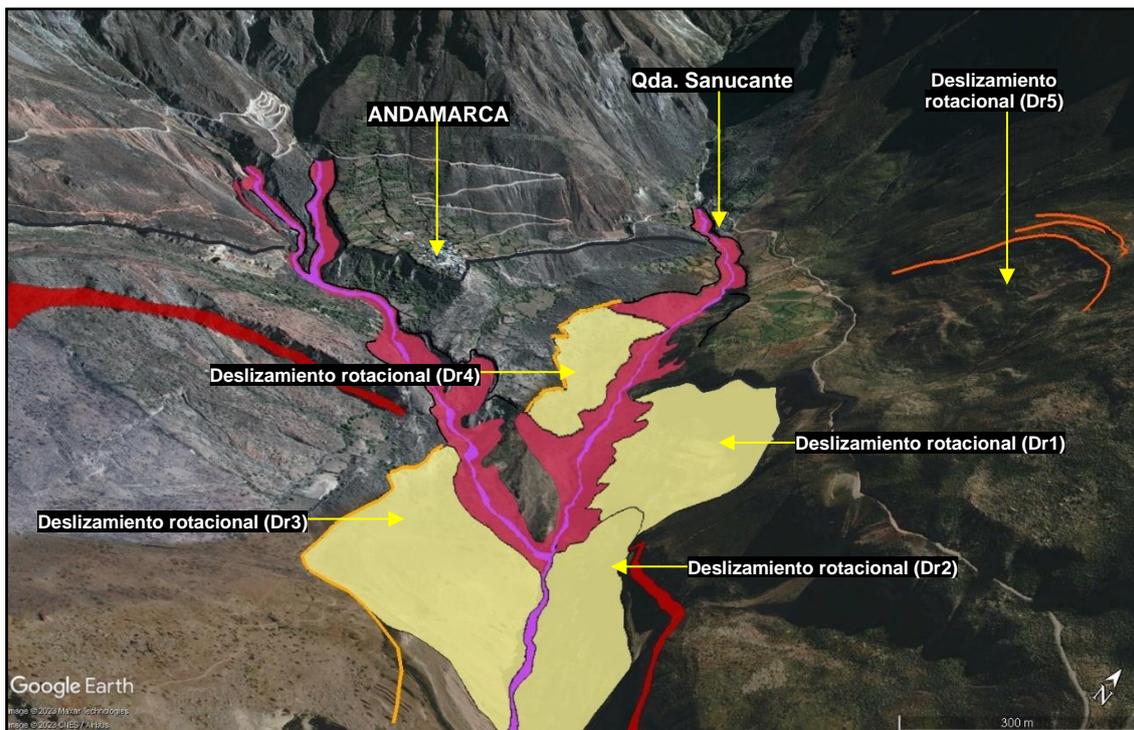


Figura 6. Deslizamientos en la parte baja del Anexo de Andamarca.

Derrumbes

Se presentan a lo largo de ambas márgenes de las quebradas Challallauaca y Sanucante, las cuales aportan material suelto a sus cauces, formando conos de talud, compuestos por mezclas de material fino, gravas, cantos y bloques, susceptibles de ser acarreados a manera de huaicos, (figura 5). La zona de arranque de los derrumbes es de forma irregular.



Figura 7. Derrumbes en el sector Morro, el Blanco y Andamarca.

Flujo de detritos (huaicos)

Los trabajos de campo nos han permitido observar que en las cabeceras de las quebradas Huasihuayco, Challallauaca y Sanucante, se viene produciendo una profundización y ensanchamiento de la quebrada, por medio de derrumbes en ambas márgenes, estos materiales caídos y sueltos, son susceptible de ser acarreados como huaicos, en periodos de lluvias excepcionales, los que podrían afectar carreteras, pases aéreos de tuberías de agua, así como zonas urbanas si se producen desbordes.

En la quebrada Huasihuayco se han encontrado dos depósitos de flujos de detritos (huaicos), el primero conformado por bloques (70%), gravas (20%), dentro de una matriz areno-limoso (10%). Posee entre 3-4 m de alto. Los bloques de mayor tamaño miden hasta 2 m.

El segundo flujo de detritos está conformado por bloques (20%), gravas (65%), dentro de una matriz areno limoso (15%). El depósito posee entre 5 a 6 m de alto, (figura 6).



Figura 8. Depósito de huaicos en la quebrada Hausihuayco.

En la quebrada Saylaturi, se aprecia el flujo de detrito que descendió en marzo del presente año; está conformado por bloques (50%), gravas (40%) dentro de una matriz areno limoso (10%). Los bloques miden hasta 10 m.

6.2 Otros peligros geológicos - Procesos de erosión de ladera (cárcavas)

Además de los peligros por movimientos en masa que se encuentran dentro de la zona de estudio, se puede mencionar la existencia de procesos de erosión en surcos y cárcavas, en las laderas circundantes, que producen pérdida de terreno, e incluso pueden llegarse a producir flujos de detritos (huaicos) pequeños, que pueden afectar terrenos de cultivo, tramos del canal principal del anexo Andamarca y a los mismos pobladores. (Mapa 4 – Anexo 1).

6.3 Factores condicionantes

- Litológicamente el área está condicionada por areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas de la Formación Labra. En la parte baja de las laderas afloran tobas poco consolidados, pertenecen a productos del Centro Volcánico Coropuna, además se aprecian depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, poco consolidados.
- Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25° - 45°), en sectores encañonados pendientes muy escapados (>45°), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo

6.4 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias; las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento.
- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, derrumbes y avalanchas de detritos.

Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. "El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica y geomorfológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

Litológicamente en el área afloran rocas sedimentarias de areniscas, areniscas cuarcíticas, cuarcitas y arcillitas de las formaciones Labra, Hualhuani y Murco, todas ellas moderadamente meteorizada y mediamente fracturada. Además, se presentan calizas de color gris, muy fracturadas, además de presentar un moderado grado de meteorización. En el área también afloran depósitos cuaternarios, de tipo coluvio deluvial, aluvial, coluvial y proluvial, los cuales se encuentran poco consolidados.

Geomorfológicamente el sector evaluado se ubica sobre montaña en roca sedimentaria; montaña estructural en roca sedimentaria; montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, vertiente con depósito de deslizamiento y vertiente o piedemonte aluvial.

Los peligros geológicos por movimientos en masa en el anexo de Andamarca son: deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujo de detritos (huaicos) y procesos de erosión de ladera.

El peligro geológico en el anexo Andamarca está condicionado por:

- Depósitos cuaternarios no consolidados y rocas moderadamente meteorizada y mediamente fracturadas de las formaciones Labra, Hualhuani, Murco y Arcurquina
- Pendiente variable de llano a inclinado suavemente (1° - 5°) en la parte alta, zona media de cambio abrupto a terrenos con pendientes muy fuertes (25° - 45°), y escarpadas ($>45^{\circ}$).
- Presencia de erosión por las aguas que descienden por la quebrada Sanucante, que genera erosión e incisión de las quebradas, que desestabiliza los taludes.

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, la zona urbana del anexo Andamarca es considerado de **Peligro Alto**, en quebradas cercanas se pueden generar flujo de detritos (huaico), derrumbes, deslizamiento, caída de rocas y erosión de ladera.

7. RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan recomendaciones con la finalidad de mitigar el impacto de los movimientos en masa. La implementación de estas recomendaciones permitirá mitigar el impacto de los riesgos geológicos en el anexo de Andamarca.

1. Controlar y evitar las infiltraciones de agua en el suelo, haciéndolo principalmente con un cambio de técnicas de riego y asesoramiento de las entidades correspondientes. Esta medida disminuirá el avance del movimiento en masa.
2. Implementar un sistema de drenaje para evacuar las aguas que surgen en manantiales, hacia zonas alejadas de los deslizamientos, para evitar la saturación de los terrenos.
3. Impermeabilizar los canales de agua para evitar infiltraciones de agua al subsuelo, todos los reservorios y canales de agua en el sector deberían ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos y con el objetivo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie incluyendo canales (tubería de PVC o manguera flexibles)
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura en área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa; las charlas también deben orientarse a mejorar sus sistemas de riego (tecnificar), sistemas de drenaje y conocer los peligros geológicos.
5. Implementar un sistema de enrocado en la quebrada Sanucante, para disminuir la erosión fluvial.



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



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

BIBLIOGRAFÍA

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Medina, L.; Gómez, H.; Santos, B.; Moreno, J. & Pari, W. (2021) - Estudio geoambiental en la cuenca del río Ocoña. INGEMMET, Boletín, Serie N: Línea de Base Geoambiental, 2, 222 p., 21 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3167>

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2015>

Pecho., V. (1983). Mapa geológico del cuadrángulo de Pausa(31-p), a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET.

INGEMMET (2022). El mapa geológico integrado del Perú versión 2022, es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000, los cuales fueron realizados por cuadrantes de un área promedio de 650 km².

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

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.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

EIRD/ONU (2004) Vivir con el riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres versión 2004. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas.

WP/WLI (1993) Multilingual landslide glossary. The Canadian Geotechnical Society. Bitech Publishers Ltd.

ANEXO 1: MAPAS

- **Mapa N°1.** Muestra el mapa geológico del anexo de Andamarca: Tomado y modificado de Pecho., V. (1983). Mapa geológico del cuadrángulo de Pausa(31-p) y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET.
- **Mapa N°2.** Muestra el mapa geomorfológico del anexo de Andamarca: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°3.** Muestra el mapa de pendientes del anexo de Andamarca.
- **Mapa N°4.** Muestra el mapa de cartografía de peligros geológicos del Anexo Andamarca.

714000

714500

715000



Ki-mu3

Kis-a3

Ki-mu3

Qh-al

Qh-al

Anexo Andamarca

Qh-col

Ki-hu3

Qh-pl

Js-l3

Qh-col

Js-l3

Js-l3

Leyenda

 Vía
  Zona urbana
  Área solicitada para inspección

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community



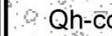
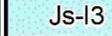
Geología del anexo Andamarca

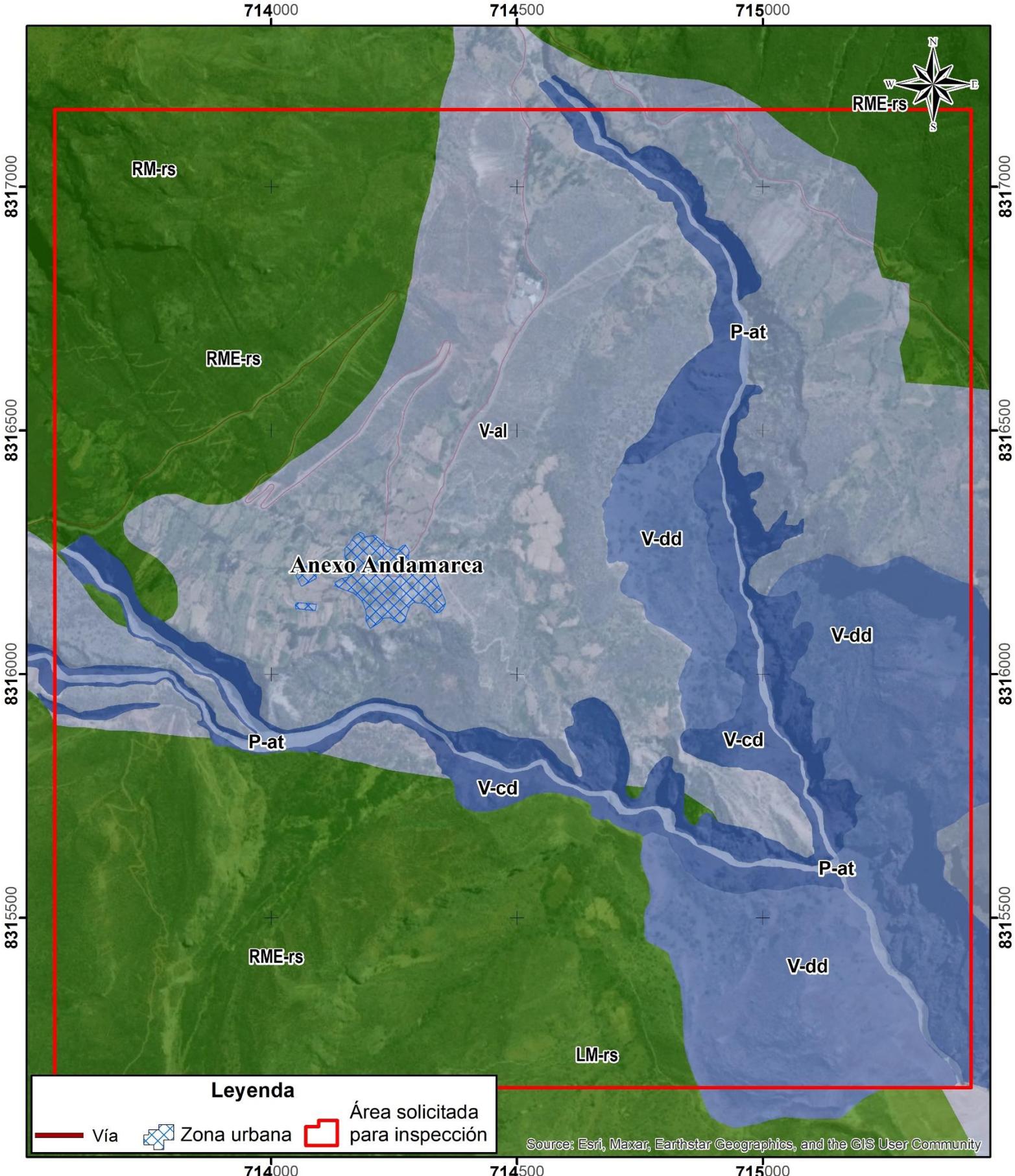
Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S

Escala 1:10,000
0 50 100 200
m

Mapa N° 1

Unidades litoestratigráficas

-  Qh-pl Depósito proluvial: bloques, grava, arenas y limos.
-  Qh-col Depósito coluvial: bloques, grava y arenas.
-  Qh-al Depósito aluvial: Conglomerados, arenas, grava.
-  Kis-a3 Formación Arcurquina: Calizas macizas gruesas, calizas delgadas bien estratificadas, alizas gruesas macizas estratificadas.
-  Ki-mu3 Formación Murco: Limoarcillitas y areniscas rojas con intercalación de yeso y sales abigarradas.
-  Ki-hu3 Grupo Yura - Formación Hualhuani: Cuarzitas y niveles de limoarcillitas oscuras, grises
-  Js-l3 Grupo Yura - Formación Labra: Areniscas grises en estratos medios-delgados.



Leyenda

Vía
 Zona urbana
 Área solicitada para inspección

Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

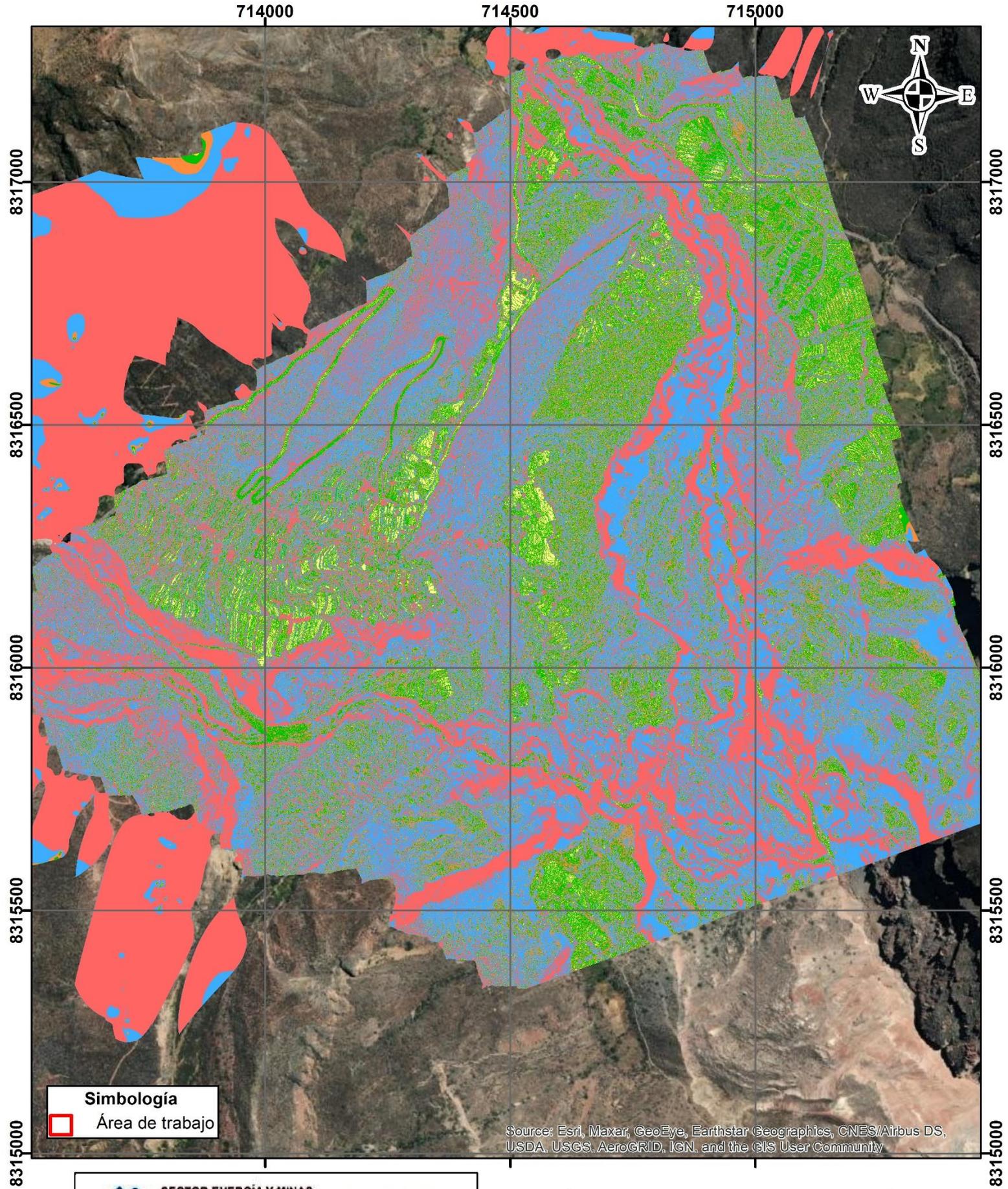
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geomorfología del anexo Andamarca

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:10,000 0 50 100 200 m	Mapa N° 2
--	--------------------------------------	-----------

Unidades geomorfológicas

P-at	Vertiente aluvio-torrencial
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento
V-cd	Vertiente coluvio-deluvial
RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
RME-rs	Montaña estructural en roca sedimentaria
LM-rs	Ladera de montaña en roca sedimentaria
V-al	Vertiente o piedemonte aluvial



Simbología
 □ Área de trabajo

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Pendientes del terreno en el anexo de Andamarca		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:8,500 0 62.5125 250 m	Mapa N° 3

Pendientes (Grados)	
	< 1 Llano
	1 - 5 Suavemente inclinado
	5 - 15 Moderado
	15 - 25 Fuerte
	25 - 45 Muy fuerte
	> 45 Muy escarpado

714000

714500

715000



8317000

8317000

8316500

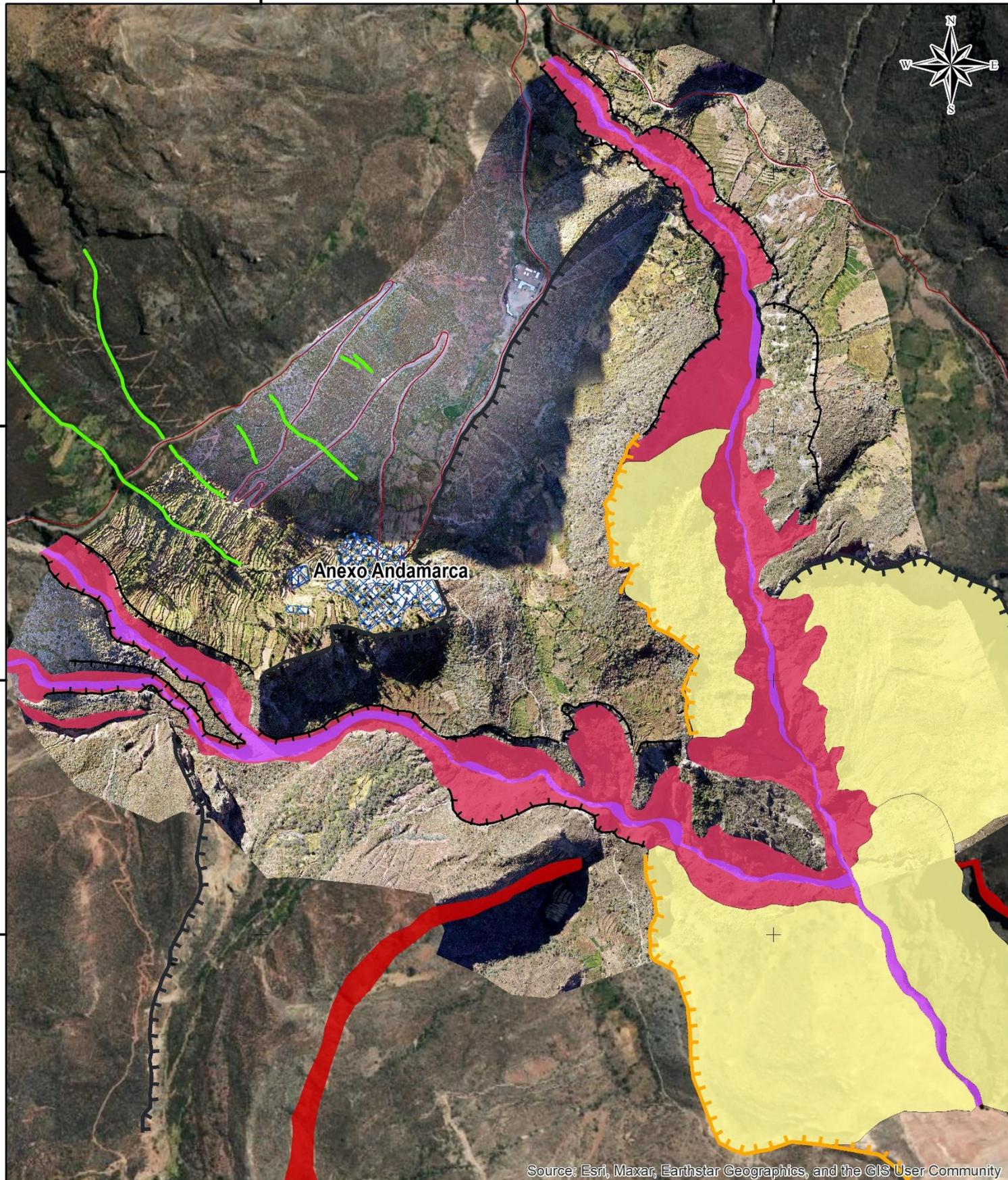
8316500

8316000

8316000

8315500

8315500



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

714000

714500

715000

Cartografía de peligros geológicos del anexo Andamarca		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:10,000 0 50 100 200 	Mapa N° 3

Peligros geológicos	
	Deslizamiento
	Caída de rocas
	Derrumbes
	Flujo de detritos

ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de caídas de rocas, avalancha de detritos, flujos (huaicos), procesos de erosiones de laderas, entre otros, así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

La estabilidad de una pendiente mejora cuando se llevan a cabo ciertas acciones. Para tener éxito, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud. En segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse suficientemente para reducir la influencia de ese proceso.

La mitigación prescrita debe diseñarse de manera que se adapte a las condiciones específicas de la pendiente que se esté estudiando. Por ejemplo, instalar tuberías de drenaje en una pendiente que tiene muy poca agua subterránea no tiene sentido. Los esfuerzos por estabilizar una pendiente se realizan durante la construcción o cuando surgen problemas de estabilidad de forma inesperada después de la construcción.

La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a un profesional experto en derrumbes, por ejemplo, un ingeniero geotécnico o civil antes de emprender cualquier trabajo de estabilización. En las secciones siguientes se ofrece una introducción general a las técnicas que se pueden utilizar para aumentar la estabilidad del talud (Highland & Bobrowsky, 2008).

Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes

La caída de rocas y derrumbes son comunes en zona con pendientes escarpadas de rocas y acantilados. Estos peligros son la causa de cuantiosas pérdidas humanas y económicas, estas últimas principalmente al obstaculizar el transporte y el comercio debido al bloqueo de las carreteras. A veces, se desvían los caminos y carreteras alrededor de las zonas de caída de rocas, pero esto no siempre es práctico. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado peligro de caída de rocas.

La aplicación de medidas correctivas en zonas con caídas se puede realizar sobre taludes de pendientes fuertes y cuya estabilización es necesaria. Para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura, los métodos más frecuentes se muestran en la (figura 9).

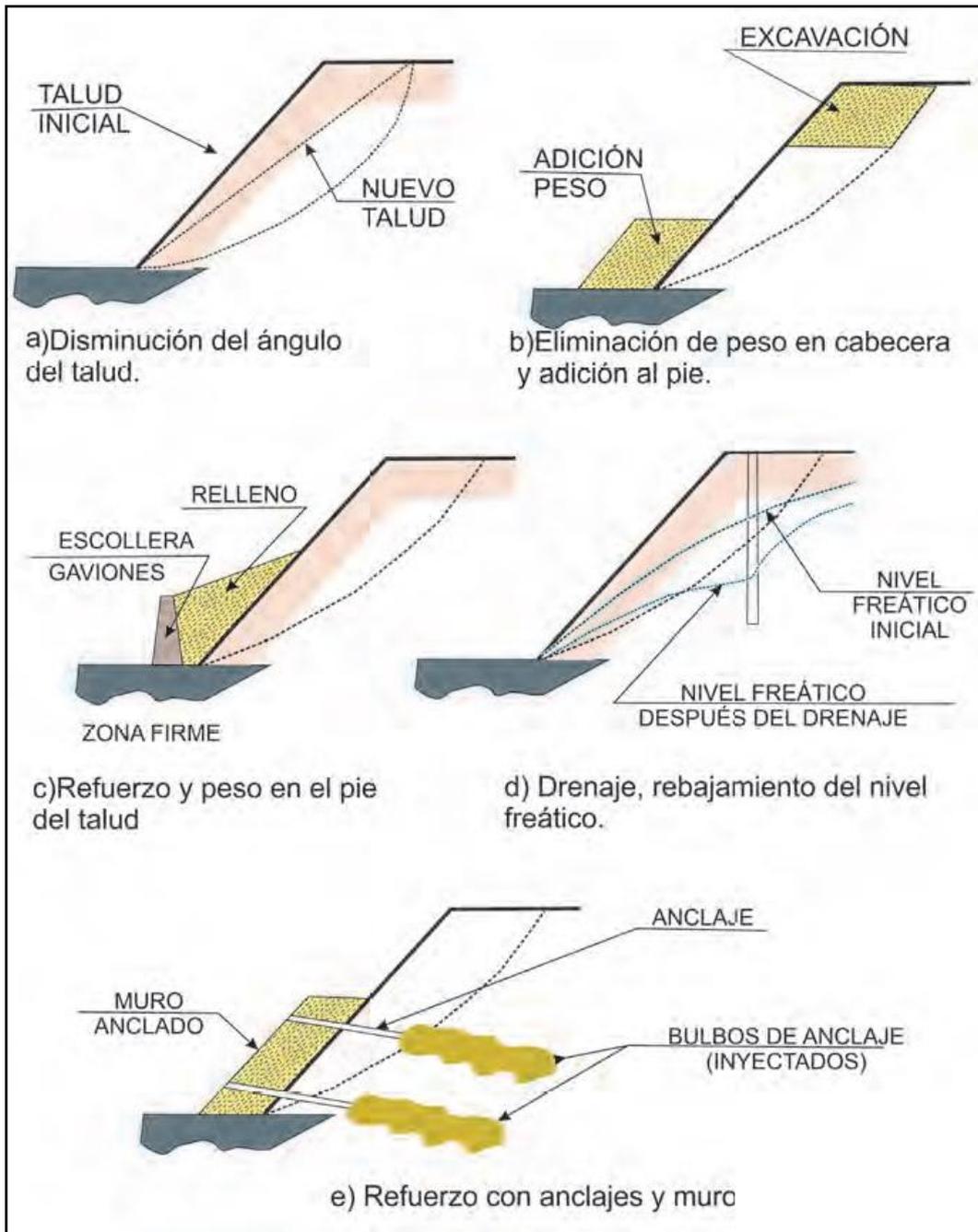


Figura 9. Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes, (Vilchez, 2021)

Corrección por modificación de la geometría del talud: Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte del talud, escalonamiento de taludes en bancos (figura 10), etc. Mediante este tipo de corrección, se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, y se obtiene una nueva configuración más estable.

Corrección por drenaje: Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos: 1) drenaje superficial mediante zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud con el fin de recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud para evitar su infiltración; y 2) drenaje profundo que tiene como finalidad deprimir el nivel freático del afloramiento, ya sea por medio de drenes horizontales, galería de drenaje, zanjas, pozos o drenes verticales, entre otros, como se

muestran en la (figura 11). En ambos casos, es necesaria la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

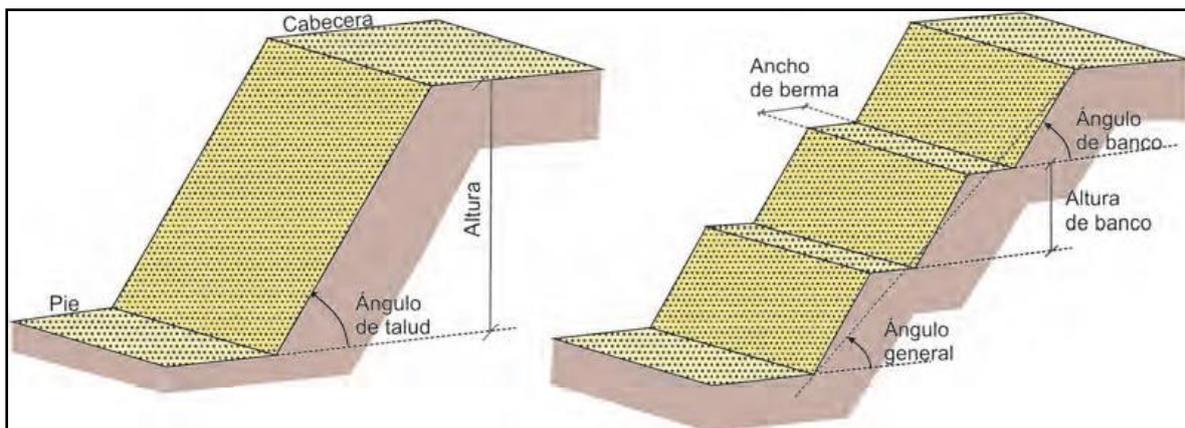


Figura 10. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

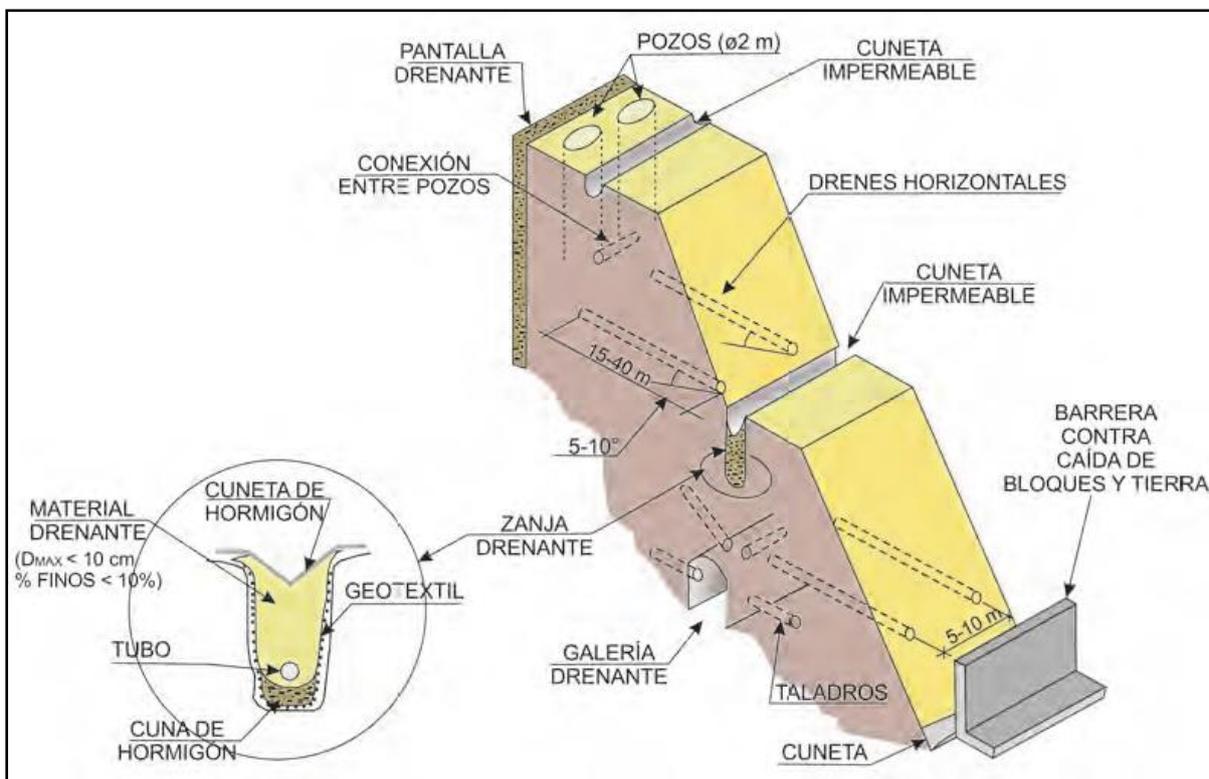


Figura 11. Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilchez, 2021)

Corrección por elementos resistentes: Tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuentes como anclajes formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo, que trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura (figura 12). Otro sistema es el uso de muros, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 13). Estos muros pueden ser de: 1) gravedad, que se construyen de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños (figura 14); 2) aligerados, ejecutados con hormigón armado en forma de L. Aquí la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno

principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón; y muros contrafuertes (figura 15).

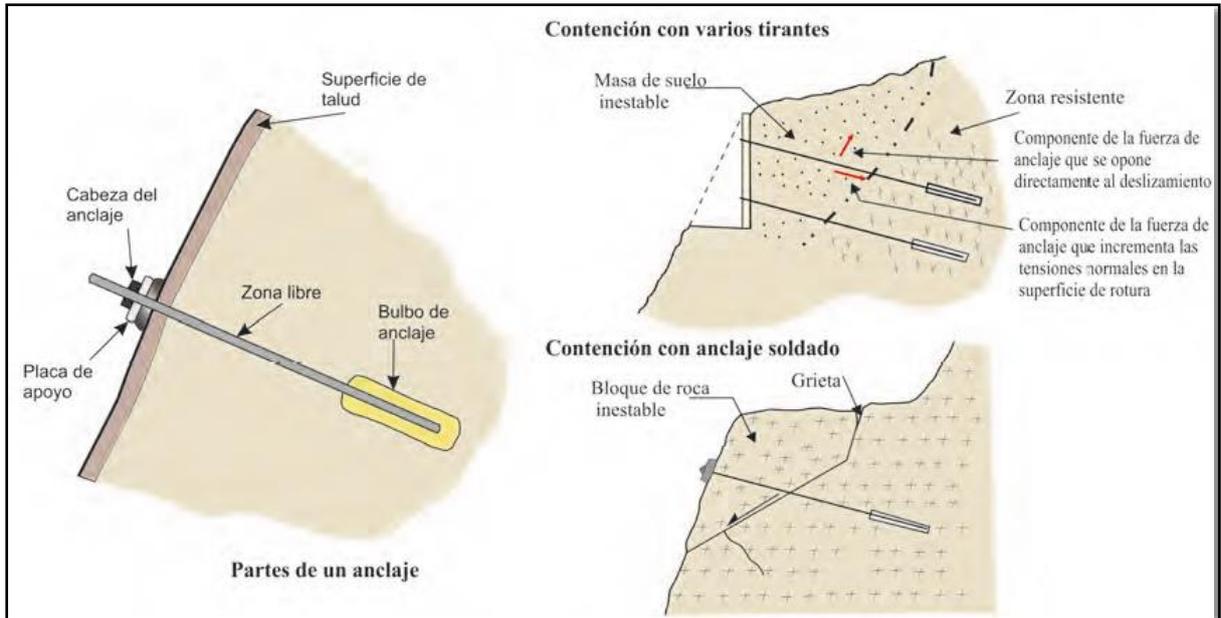


Figura 12. Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

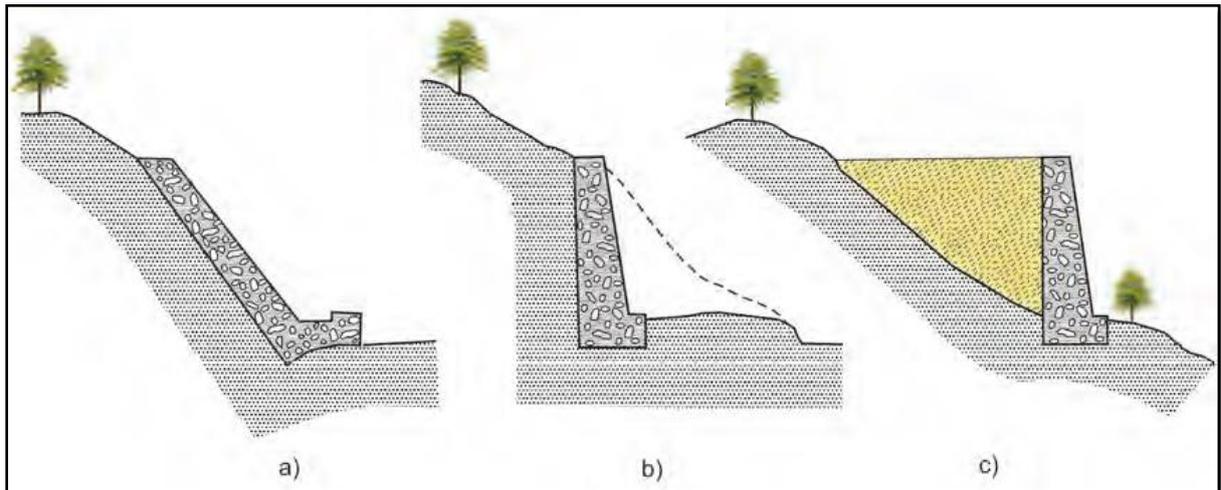


Figura 13. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

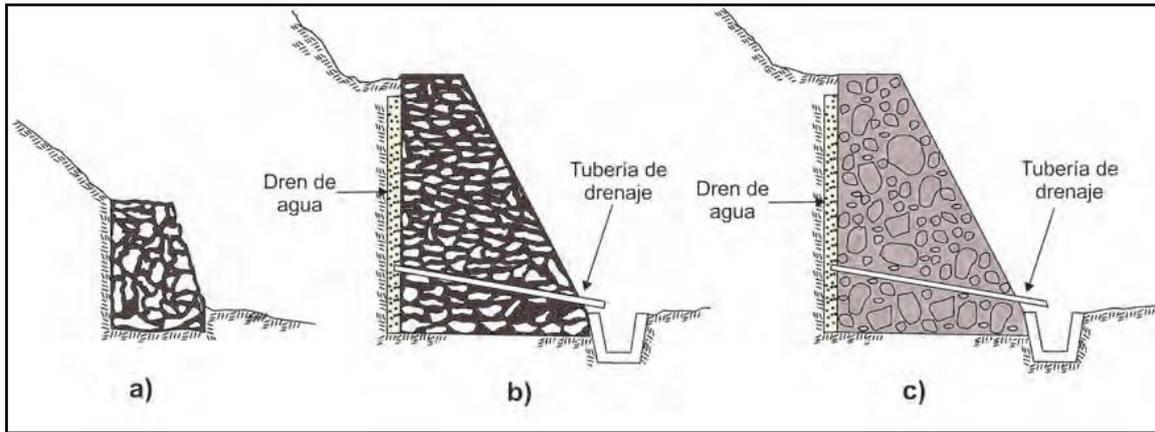


Figura 14. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

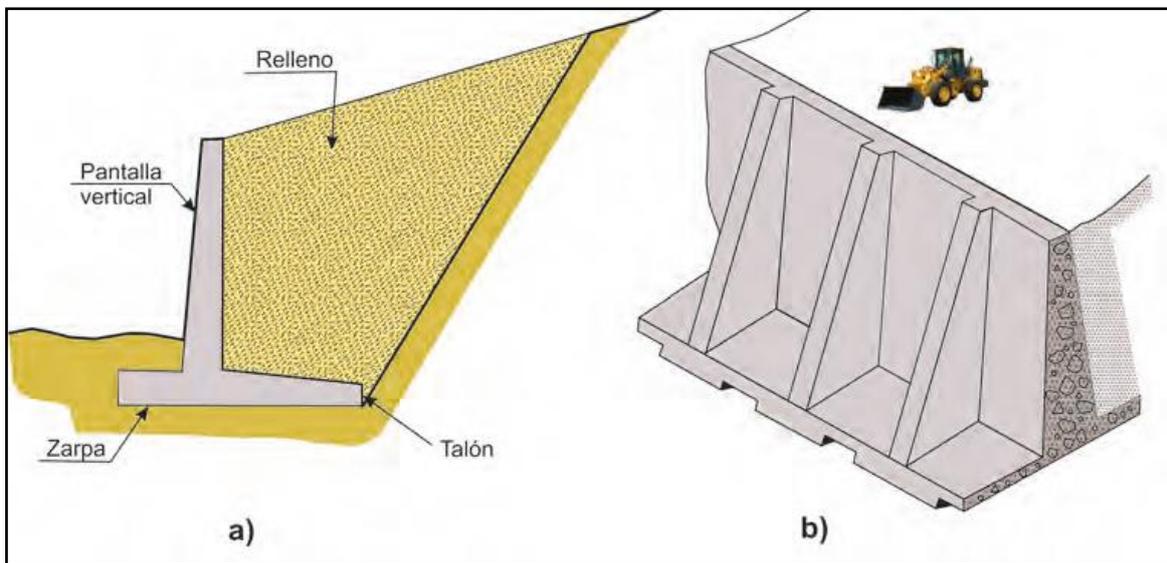


Figura 15. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

Otro sistema lo conforman los Gaviones con forma de prisma rectangular, que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable como caliza, andesita, granitos, etc. retenido por una malla de alambre metálico galvanizado, cuya altura puede ser de 5 a 10 m (figura 16).

También tenemos las pantallas de pilotes, de hormigón armado, que constituyen alineaciones de pilotes cuyo diámetro varía entre 40 a 120 cm, y donde el espacio entre dos adyacentes es lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo (lamentablemente, son muy costosas). También se usan los muros de pantalla, enterrados de hormigón armado. Su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (figura 17).

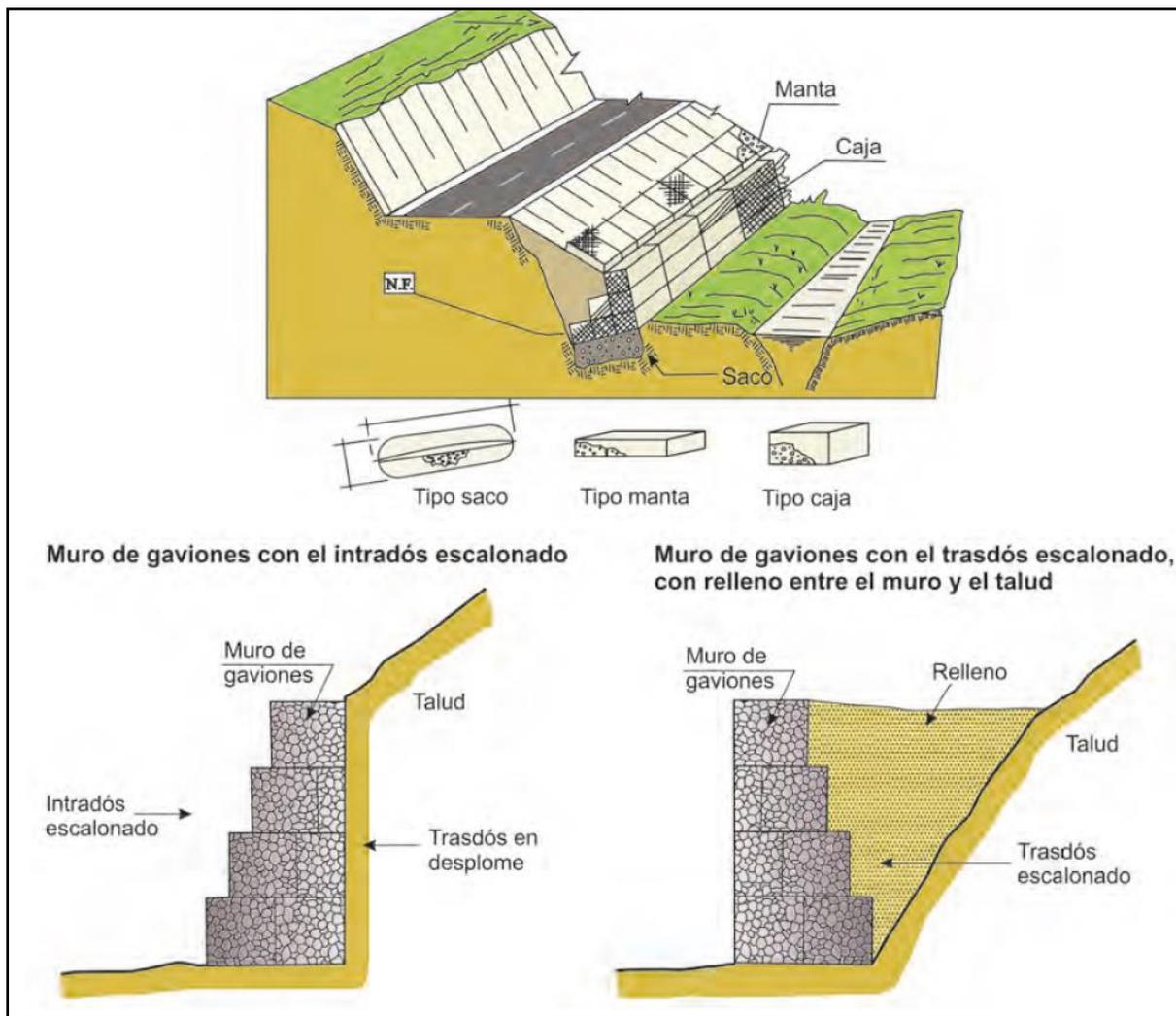


Figura 16. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

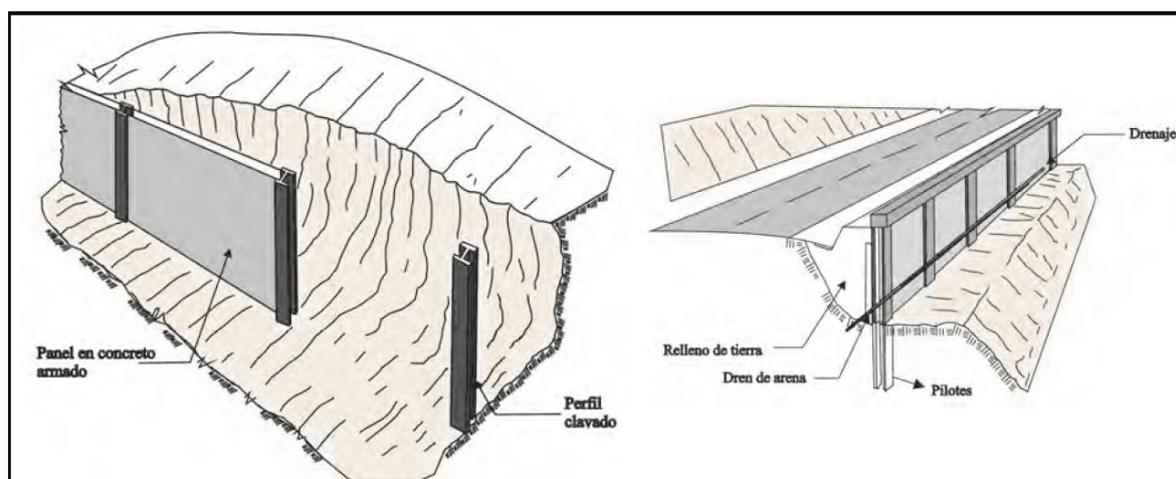


Figura 17. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilchez, 2021)

Correcciones superficiales: Estas medidas se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno con la finalidad de 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 y aumentar la

seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales. En esta categoría, se tiene, por ejemplo, el uso de: 1) mallas metálicas que cubren 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. En la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca por caer se encuentra entre 0,6 a 1 m (figura 18).



Figura 18. Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada, (Vilchez, 2021)

Corrección por elementos flujos

Acá se desarrollan las medidas para quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación.

Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, como en el caso del Fenómeno El Niño; es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.

Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 19)

Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico), ya

sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y barras flexibles, fosas de decantación; etc. (debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido) (figura 20).

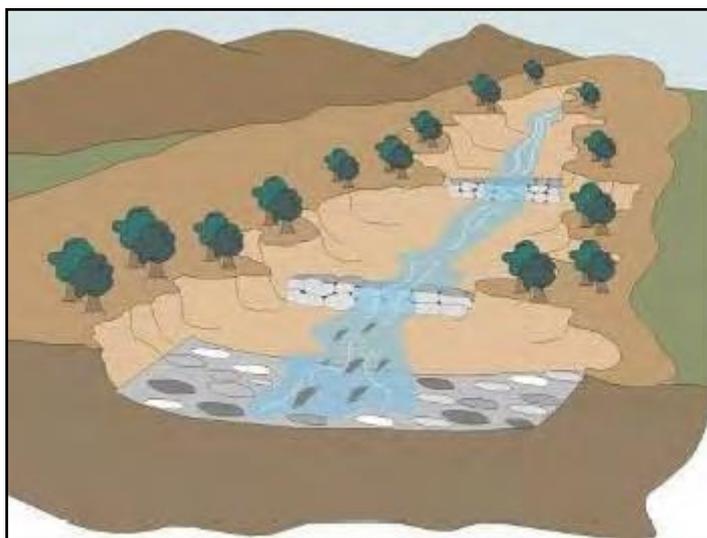


Figura 19. Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilchez, 2021)



Figura 20. Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huacos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles, (Vilchez, 2021)

Sistemas de alarmas

Consisten en la instalación de diversos sistemas o instrumentos, en superficie o en profundidad, con la finalidad de detectar movimiento o medir determinados parámetros relacionados con los movimientos. Los más frecuentes son:

Instalación de inclinómetros y piezómetros en deslizamientos o en laderas cuya inestabilidad supone riesgos importantes (por ejemplo, en las laderas de embalses o de zonas urbanizadas). Se requiere establecer los valores tolerables (de desplazamiento) a partir de los cuales se considera que los movimientos son peligrosos o que pueden acelerarse. Es muy importante tomar los datos con precisión, de preferencia de forma automática, y la interpretación de las medidas obtenidas, así como las decisiones, que deben basarse en juicios expertos. La frecuencia de medida está en función de las características del proceso y de la fase o estado de inestabilidad. Debe prestarse atención también al correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas.

Sobre la base de las medidas, pueden establecerse correlaciones con las precipitaciones, lo que ayuda a definir los niveles o umbrales de alarma.

- Instalación de redes de cables en laderas rocosas con peligro de desprendimientos, mediante señales eléctricas o de otro tipo (al golpear los bloques desprendidos), que generalmente se instalan en laderas rocosas con vías de ferrocarril y carreteras a su pie. El sistema puede estar conectado con señales que avisen del peligro inminente.
- Instalación de sistema de vigilancia y alerta en las quebradas por flujo de detritos o huaicos, con el propósito de recopilar información sobre flujos en el campo tanto como sea posible para la estación de monitoreo de flujos de detritos eficaz, se tiene como ejemplo el instalado en Taiwan, mediante un seguimiento de sensores como pluviómetro, cámara, medidor de nivel de agua por ultrasonidos, sensor de humedad de suelo, cable sensor y geófonos. Los datos son captados por los sensores de observación, actualizados y transferidos a través de sistemas de transmisión por satélite en tiempo real hacia una página web y móviles desde una cabina instrumental que es la fuente de alimentación de procesamiento de datos (figuras 21 y 22).

Esta información se utiliza no solo para ayudarnos a comprender el mecanismo físico de los flujos sino también para mejorar la exactitud del sistema actual de alerta sobre la base de umbrales de precipitación.



Figura 21. Sensores utilizados para el monitoreo de flujos de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).



Figura 22. Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).