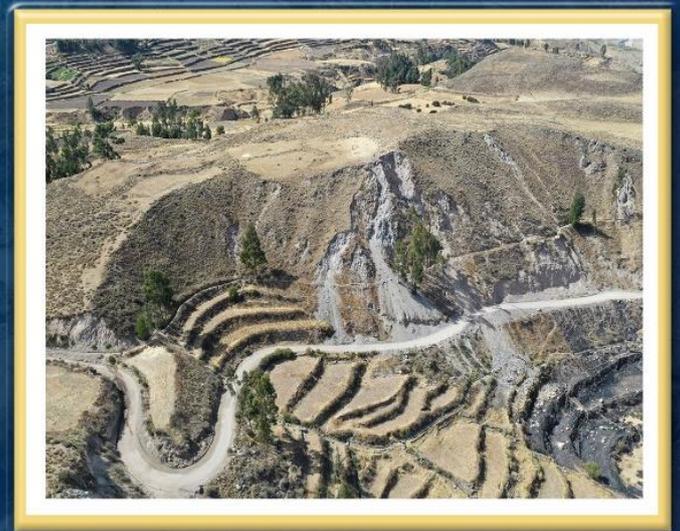
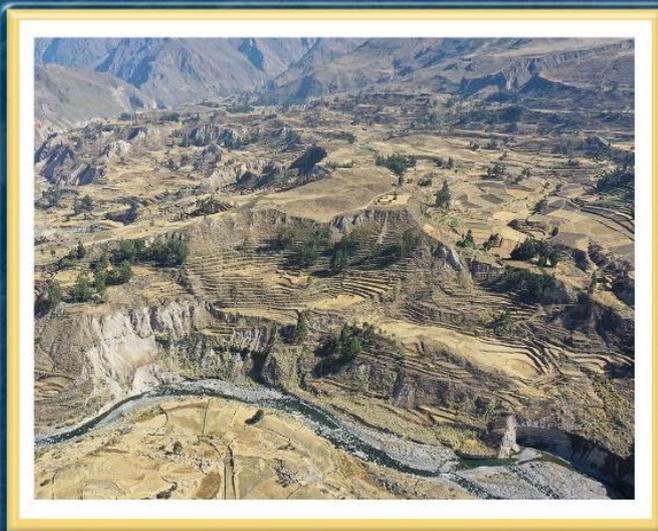


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7444

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES UNCOLLO Y ARCOCOLLO

Departamento Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Lari



NOVIEMBRE
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES UNCOLLO Y ARCOCOLLO

Distrito Lari, Provincia Caylloma, Departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos en los sectores Uncollo y Arcocollo. Distrito Lari, Provincia Caylloma, Departamento Arequipa*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7444, 34 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Accesibilidad	7
1.3.3. Precipitación pluvial	7
1.3.4. Población	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	13
4.1 Pendiente del terreno	13
4.2 Unidades geomorfológicas	14
4.2.1 Geoformas de carácter depositacional o agradacional	14
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	16
5.2. Factores condicionantes	19
5.3. Factores desencadenantes	19
6. CONCLUSIONES	20
7. RECOMENDACIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	22
ANEXO 1: MAPAS	23
ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	28

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado los sectores Arcocollo y Uncollo, en el distrito de Lari, provincia Caylloma, 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 los siguientes depósitos: **a)** avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca, el cual está conformado por fragmentos heterogéneos, es no consolidados y friable; **b)** lacustrinos no consolidados, compuestos por intercalaciones de limoarcillitas con niveles delgados de areniscas finas, hacia el tope presenta niveles de conglomerados polimícticos, **c)** proluviales, **d)** coluvio-deluvial, **e)** coluvial, **f)** coluviales y **g)** fluviales, los cuatro últimos se presentan de manera no consolidado.

Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en los sectores Arcocollo y Uncollo son: deslizamientos, derrumbes, avalancha de detritos. El evento más resaltante es un deslizamiento rotacional latente, el cual presenta una corona en forma de herradura, y tiene 850 m de longitud, está comprendido entre las cotas 3247 y 3158, es decir posee un desnivel de 89 m, además, posee un salto principal de 10 m.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** incompetencia del material no consolidado, conformado por depósitos de conglomerados de origen aluvial-lacustre intercalados con capas de arenas y limoarcillitas. Las observaciones de campo permitieron corroborar que los depósitos de limoarcillitas se encuentran saturados de agua. Asimismo, se identificaron los siguientes depósitos, proluviales; coluvio-deluvial; coluvial; coluviales y fluviales, los cuales son no consolidados, **b)** influencia de las aguas subterráneas (surgencias, ojos de agua, manantiales, bofedales) y 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°).

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, los sectores Arcocollo y Uncollo son considerados de **Peligro moderado a Alto**, en la zona se aprecian derrumbes, deslizamientos y avalancha de detritos.

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 la activación de los deslizamientos en la zona. Asimismo, evitar alterar las condiciones normales de los suelos en los sectores Arcocollo y Uncollo, para mantener el grado de peligrosidad. Además, se debe implementar alternativas para el manejo de problemas por peligros geológicos descritos en el anexo 2.

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 de la municipalidad provincial de Caylloma, según Oficio N° 517-2022-MPC-CHIVAY-A; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el distrito de Lari, sectores Arcocollo y Uncollo.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan el sector Uncollo y Arcocollo. Los trabajos de campo se realizaron del 21 al 23 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 Lari 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 los sectores Arcocollo y Uncollo; 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. Deslizamiento en Lari: El sector denominado Juanca-Lari presentó un deslizamiento rotacional con desplazamiento de una sola masa, con basculamientos y agrietamientos en el terreno desplazado. Se diferenciaron dos sectores con características particulares: una escarpa principal oeste con un salto de 2,50 a 3,00 m, mientras que en el lado este alcanza un salto de hasta 30 m de altura. Afectó terrenos de cultivo.

- 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. Procesos de erosión de laderas y deslizamientos rotacionales, activos y antiguos en la margen derecha del río Colca entre Madrigal y Lari, es afectado por deslizamientos de tipo rotacional. Algunos de estos deslizamientos son antiguos y en ellos es posible observar trabajos de estabilización por medio de la construcción de andenerías. Asentamiento constante del terreno, así como la reactivación en depósitos antiguos. Se observan bofedales y presencia de agua subterránea, en el cuerpo de los deslizamientos. Procesos de erosión en cárcavas en las laderas superiores al poblado de Lari. Deslizamiento reciente con gran afectación de áreas de cultivo, acelerado posteriormente por sismo de Chuquibamba, en julio del 2008.
- c) García & Guevara (1963). Deslizamiento del cerro Quehuisa en los distritos de Lari y Madrigal. En marzo de 1963, ocurrió un deslizamiento en las faldas del cerro Quehuisa, cabecera de la quebrada Ccallomayo a unos 10 km al norte de Madrigal, el cual originó la destrucción de tres hectáreas de cultivos de alfalfa y cebada, tres bocatomas de acequias de regadío, y sepultó algunas reses y 44 alpacas (García, W., 1963). La zona deslizada en forma de abanico abarcó una superficie de 4000 m² y se estimó un volumen de material desplazado de 10000 m³. La pendiente del terreno es moderada y se apreció la presencia de bofedales o zonas pantanosas. Se atribuyó como causa de la ocurrencia del fenómeno la saturación del material detrítico existente, originado por las filtraciones de aguas desde las partes altas. En esta inspección realizada por García, se menciona igualmente la ocurrencia de un derrumbe de dimensiones considerables en el área de Madrigal, originado tras un sismo. En esa fecha, se reconocieron rajaduras paralelas al borde la escarpa generada por este derrumbe, que distaban del pueblo unos 50 m.
- d) Zavala et al. 2009. Aspectos geodinámicos en los distritos de Lari, Madrigal y Maca (provincia de Caylloma, región Arequipa). En este informe, se abordan principalmente temas de riesgo geológico, que por similitud de sus condiciones geológicas y geomorfológicas se incluye una evaluación conjunta de los distritos de Lari, Madrigal y Maca.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde a los sectores Arcocollo y Uncollo, ubicados en el Distrito Lari, Provincia Caylloma, 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	201009	8270624	-15.624635°	-71.788433°
2	202190	8270636	-15.624666°	-71.777426°
3	202207	8269418	-15.635667°	-71.777416°
4	201025	8269404	-15.635654°	-71.788433°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				

Punto Central	201906	8269992	-15.630448°	-71.780151°
---------------	--------	---------	-------------	-------------

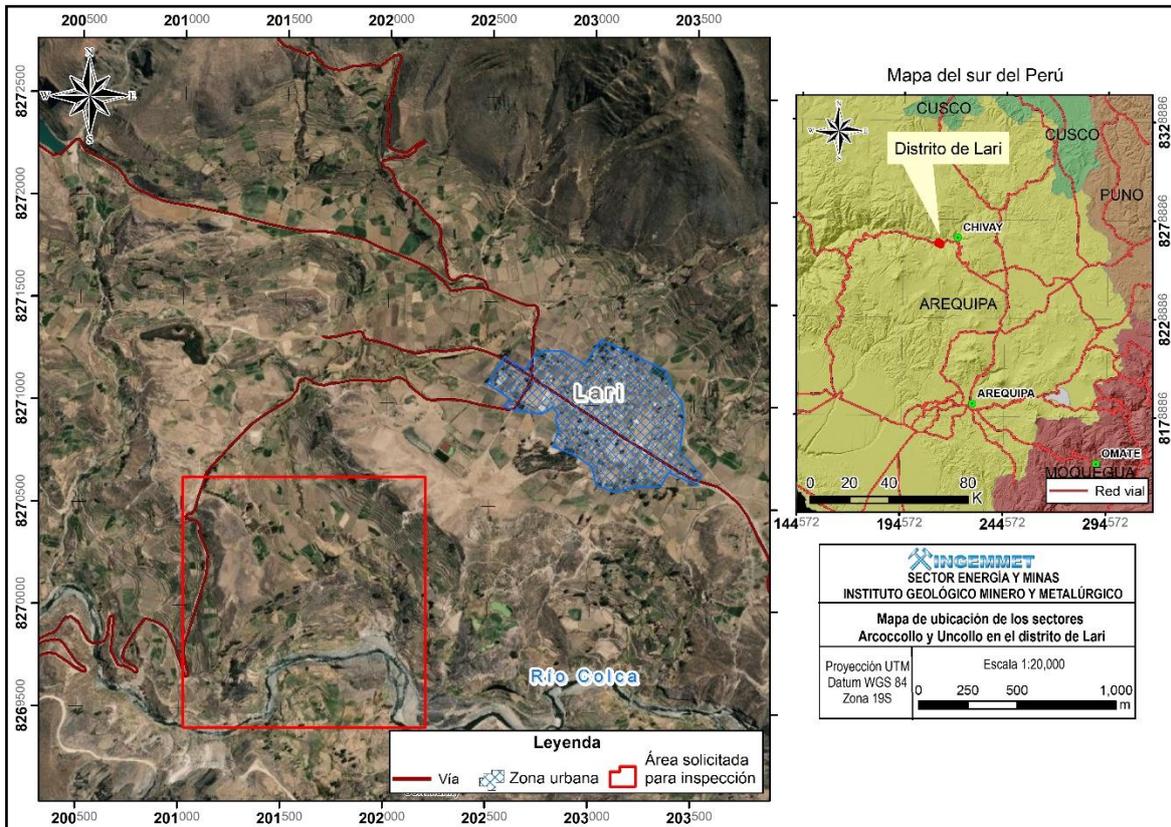


Figura 1. Ubicación del área evaluada en el distrito de Lari.

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 - Chivay	Asfaltada	163	3 horas y 10 min
Chivay - Lari	Asfaltada	23.8	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 Madrigal, 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.

- En la estación de Cotahuasi, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 35 mm.

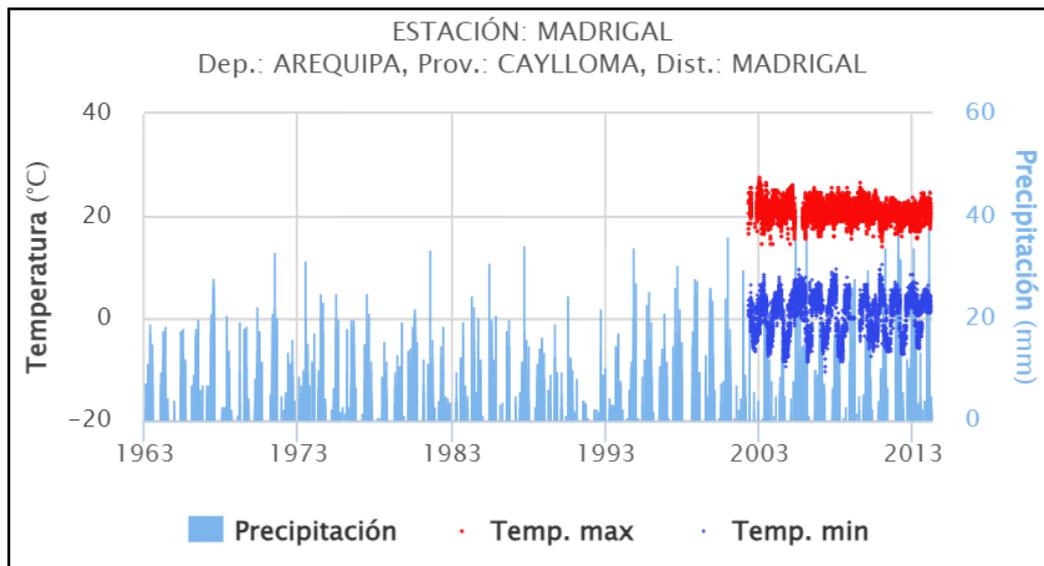


Figura 2. Precipitación diaria según la estación Madrigal. Fuente: Senamhi.

1.3.4. Población

El distrito Lari es uno de los distritos menos poblado de la provincia Caylloma, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 904 personas (figuras 3 y 4).

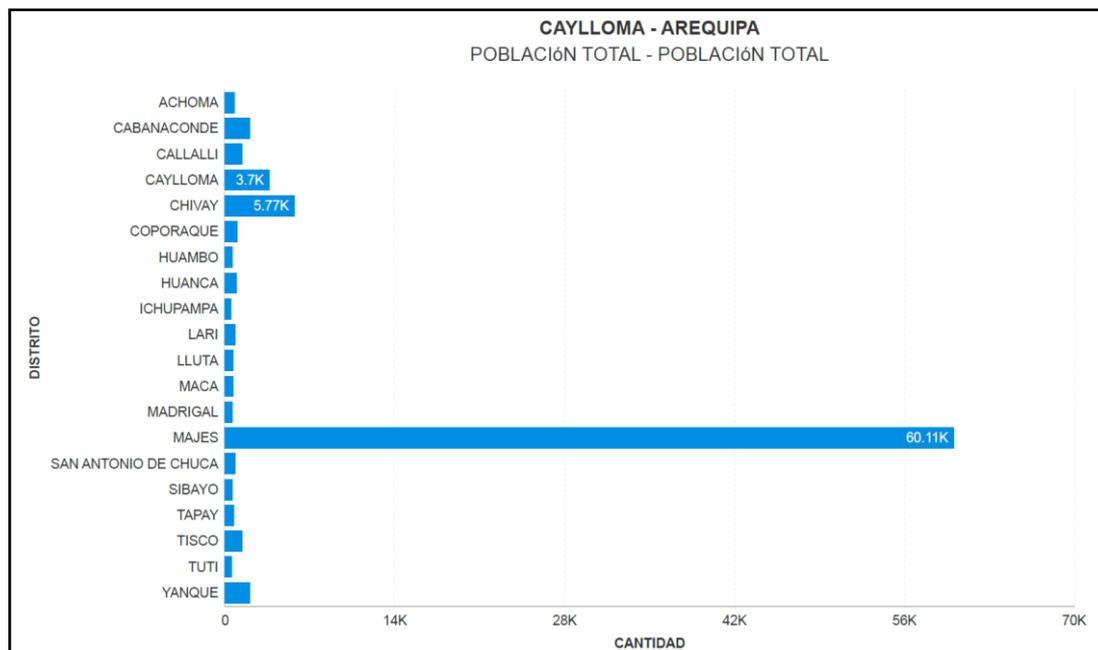


Figura 3. Población de la provincia de Caylloma "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

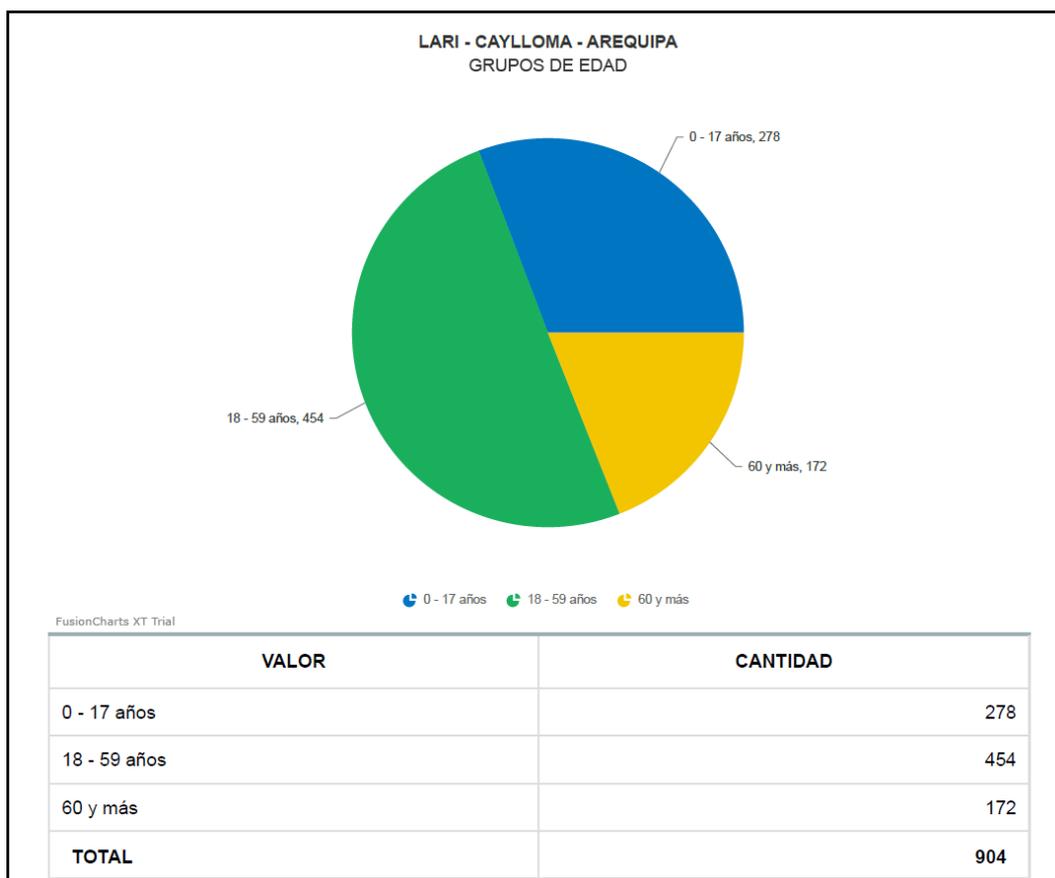


Figura 4. Población del distrito de Lari. (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

Según el Censo Nacional 2017, en el distrito Tipan las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 278 personas; (18-59 años) 454 personas y (60 años a más) 172 personas.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico 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 Chivay 32-s-I (Cerpa et al., 2009); mapa geológico del valle del Colca Mariño, et al. (2011); los trabajos realizados por Klinck & Palacios (1985) y Quispesivana & Navarro (2001), de la Carta Geológica Nacional. Así como 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, afloran rocas según se detalla líneas abajo. La etiqueta de las unidades está basada en el mapa geológico presentado en Mariño, et al. (2011).

Depósitos de avalanchas de rocas del volcán Hualca Hualca (P-av2 y P-av1): En el sector Arcocollo, al tope de la secuencia aflora un depósito de avalancha de rocas de limitada extensión, que posee entre 30 y 50 m de espesor. Asimismo, se aprecia al sur del sector Uncollo.

Estos depósitos están conformados por fragmentos de litología heterogénea y tamaño heterométrico, que en conjunto son depósitos no consolidados, friables. En este caso, lo que más abundan son las facies de bloques, aunque también de manera muy restringida se tienen facies de matriz. Los bloques, que son mayormente de lava andesítica, poseen dimensiones centimétricas a métricas, angulosos a sub-angulosos, y se encuentran englobados por una matriz limo-arcillosa.

La zona de colapso de esta avalancha de escombros se encuentra en la margen izquierda del valle del Colca, aproximadamente a 4500 m, a 5 km al suroeste de Maca, donde se observa una cicatriz en forma de herradura, abierto hacia el este, de aproximadamente 1 km de diámetro. El cartografiado geológico ha puesto en evidencia que la avalancha fluyó en dirección noreste, alcanzando la zona de Maca, e incluso el río Colca, en cuyas inmediaciones se observa que se encuentra sobreyaciendo a los depósitos lacustrinos conformados por arcillita y limoarcillita.

Debido a que son depósitos no consolidados y que están conformados por bloques heterométricos englobados en una matriz limo-arcillosa, se les considera de malas características geotécnicas. Tal como demuestra la presencia de deslizamientos, derrumbes y reptación de suelos, principalmente al oeste de Maca (Zavala, et al., 2012).

Depósito lacustrino de diatomita (P-la1): Son depósitos lacustres compuestos por intercalaciones de limoarcillitas con niveles delgados de areniscas finas de color pardo, con espesor promedio de 30 m. Hacia el tope se observan niveles de conglomerados polimícticos, estos depósitos se pueden observar en gran parte del piso del valle del Colca. La edad es atribuida a 0.61 Ma, ya que estos depósitos no están datados, pero se hallan debajo de flujos de lava datados (Klinck et al., 1986).

Son depósitos no consolidados, por tanto, son fácilmente saturados y removilizados.

Depósito proluvial (P-pr2): Conformado por secuencia poco consolidados de depósitos de flujos de detritos antiguos, intercalados con niveles aluviales, estas secuencias están compuestas por conglomerados y areniscas de ambiente continental; además, están dispuestas en forma de abanicos emplazados por las quebradas que drenan al río Colca, se observa al Noreste de la zona evaluada, en la margen derecha del río Colca.

Depósito coluvio deluvial – Qh-cd: Son depósitos 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 Uncollo. El depósito es poco consolidado.

Depósito coluvial (Qh-col): Material originado por la acción de la gravedad, los depósitos coluviales se acumulan en vertientes o márgenes de los valles, como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos.

En conjunto, por su naturaleza son susceptibles a la erosión pluvial, remoción y generación de flujos de detritos (huaicos), y cuando son el resultado de antiguos movimientos en masa son susceptibles a reactivaciones detonadas por precipitaciones pluviales o al realizar modificaciones en sus taludes naturales.

Los depósitos coluviales se encuentran conformados por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, los bloques angulosos más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores (arenas y limos) disminuyen gradualmente hacia el ápice. Son sueltos poco cohesivos, conforman taludes de reposo poco estables. Los principales agentes formadores son el intemperismo, la gravedad, movimientos sísmicos, derrumbes y vuelcos.

Estos depósitos se encuentran en inmediaciones de los sectores Uncollo y Arcocollo; son no consolidados.

Depósito fluvial (Qh-fl): El cual aflora a lo largo del río Colca, conformada por la acumulación de arena y limo en capas subhorizontales depositados en terrazas con espesores de 2 a 8 m (Cerpa et al., 2009). Los depósitos fluviales en la zona de estudio se presentan de manera inconsolidados, con presencia de bloques polilitológicos de hasta 4 m, dentro de una matriz areno-limoso.

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 y/o erosionados por el río Colca, se aprecian pendientes muy escapados ($>45^{\circ}$). (figura 5).

Se elaboró un mapa de pendientes con base en el modelo de elevación digital (DEM), de 0.50 m de resolución, a partir de imágenes satelitales e imágenes tomadas con dron (Anexo 1).

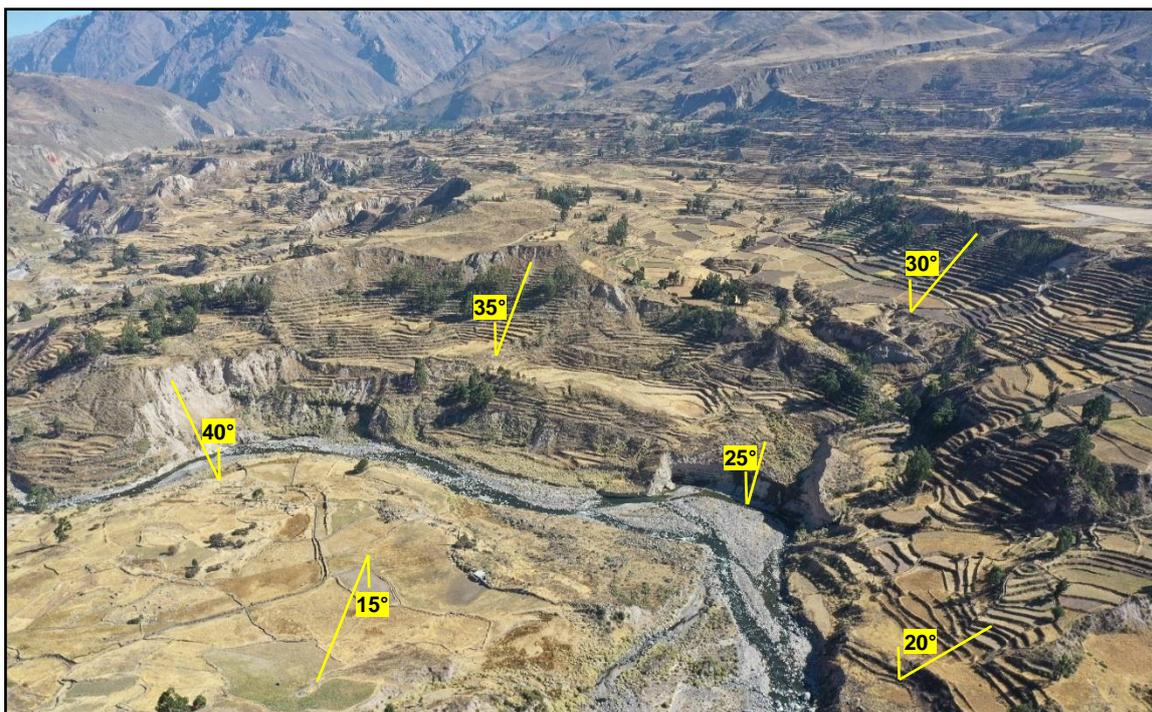


Figura 5. Pendientes en los sectores Uncollo y Arcocollo.

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 escapado
>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:

- Geoformas 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 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 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 el sector Uncollo. Está conformada por depósitos de deslizamientos.

Terraza alta aluvial (Ta-al): Son terrenos con pendientes bajas a subhorizontales, se encuentran a mayor altura que las terrazas bajas y el cauce del río Colca, dispuestos a los costados de la llanura de inundación. Representan niveles antiguos inconsolidados de materiales aluviales, con procesos erosivos como consecuencia de la profundización del valle.

Terraza aluvial (T-al): Planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de materiales transportados por las corrientes de agua. Se ubica en las partes bajas, en inmediaciones del río Colca, (figura 6).



Figura 6. Terrazas en el sector Arcocollo.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El peligro geológico identificado en el sector Arcocollo, corresponde a avalancha de detritos y derrumbes, asimismo en el sector Uncollo, se identificaron peligros por deslizamiento y derrumbes. 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, originados por la incisión sufrida en los cursos de ríos en la Cordillera de los Andes (figura 7), 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 7. Incisión del río Colca en el sector Uncollo.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Deslizamiento

En el valle del Colca se evidencian diversos procesos por movimientos en masa de magnitud importante; al frente del área evaluado se presentan procesos geológicos activos que afecta la zona urbana en Maca, terrenos de cultivo y la carretera que une los distritos de Maca y Cabanaconde, estos procesos tienen un avance progresivo “hacia el río Colca” como retrogresivo “hacia el poblado de Maca”, (Valderrama y Araujo, 2016).

En el sector Uncollo, se identificaron dos deslizamientos, el primero es un deslizamiento rotacional abandonado y el segundo es un deslizamiento rotacional latente. Además de derrumbes, generados por la erosión fluvial del río Colca.

Deslizamiento rotacional abandonado: Se trata de un deslizamiento antiguo, el cual presenta una corona poco definida, posee una forma de herradura invertida y tiene 1500 m de longitud, del pie a la corona posee 141 m de alto, comprendidos entre las cotas (3305 y 3164), además de una escarpa cubierta por vegetación, posee un salto principal de 83 m aproximadamente, (figura 8).

Se considera un deslizamiento abandonado, al estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

Deslizamiento rotacional latente: Se trata de un deslizamiento reciente, el cual presenta una corona definida, posee una forma de herradura invertida y tiene 850 m de longitud, del pie a la corona posee 89 m de alto, comprendidos entre las cotas (3247 y 3158), además de una escarpa definida, posee un salto principal de 10 m aproximadamente, (figuras 8 y 9).

Se considera latente a un movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993)

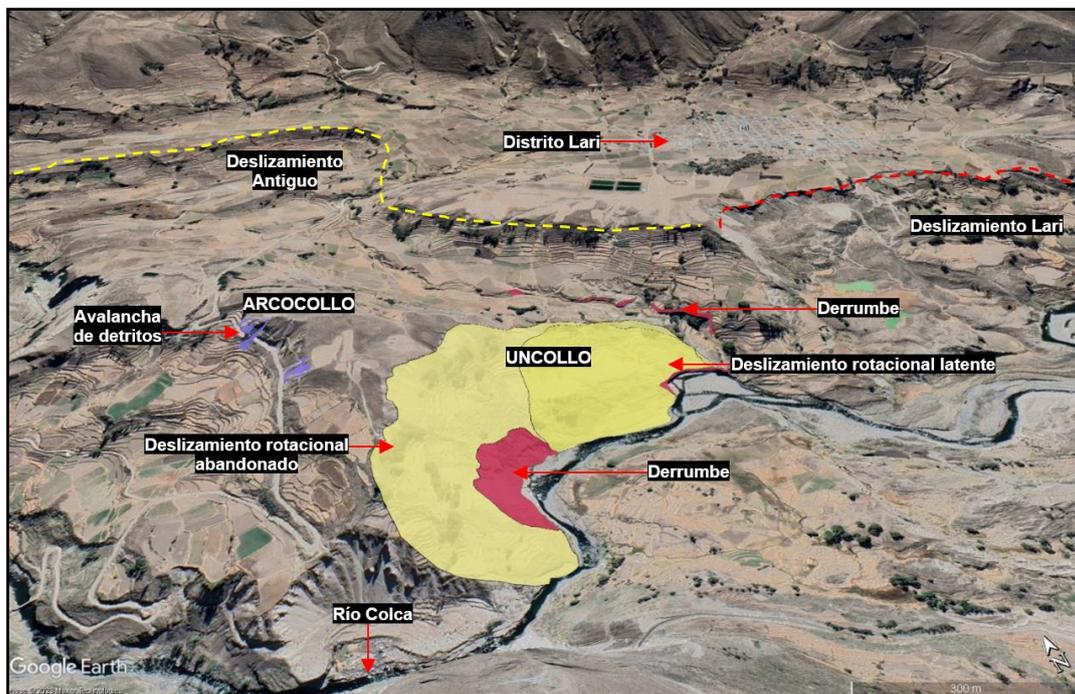


Figura 8. Movimiento en masa en los sectores Arcocollo y Uncollo.



Figura 9. Sector Uncollo, Presencia de grietas en el terreno.

Derrumbes

Este tipo de movimiento en masa, se presentan a lo largo de ambos márgenes del río Colca, Principalmente debido a la intensa erosión fluvial sufrida en las sinuosidades del cauce del río. Los derrumbes aportan material suelto al cauce, formando pequeños conos de talud, compuestos por mezclas de material fino, gravas, cantos y bloques, susceptibles de ser acarreados. (figuras 10 y 11). Los procesos de derrumbes se presentan desde depósitos aluviales, conformado por niveles de cantos y gravas de composición heterogénea, además de arenas y limos. El depósito es poco consolidado.

En **N1**: La zona de arranque presentan una cicatriz definida en forma de herradura, el cual tiene una longitud de aproximada de 200 m, con una altura de caída de 10 m.

En **N2**: La zona de arranque presentan una cicatriz poco definida irregular, el cual tiene una longitud de aproximada de 3150 m, con una altura de caída de 60 m.

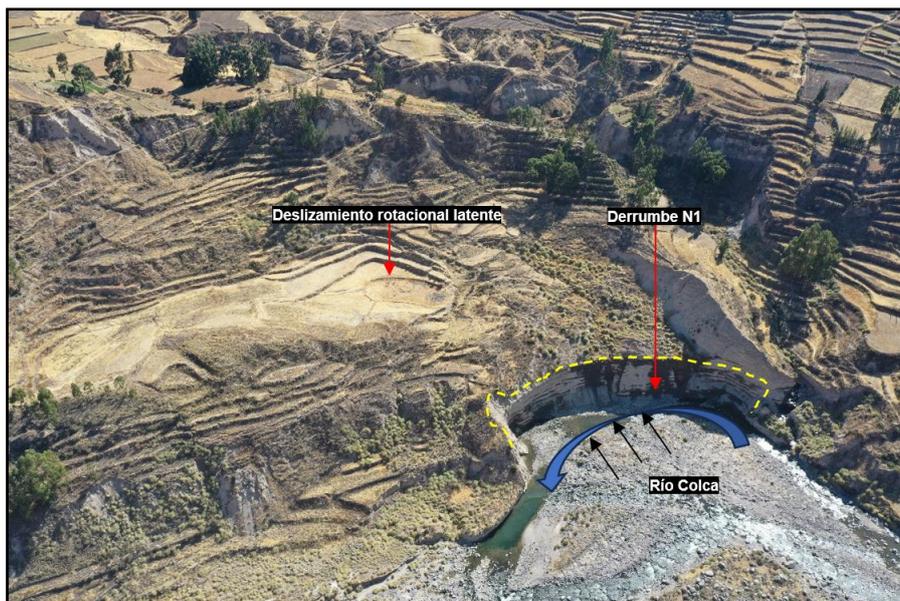


Figura 10. Derrumbes en el sector Uncollo.

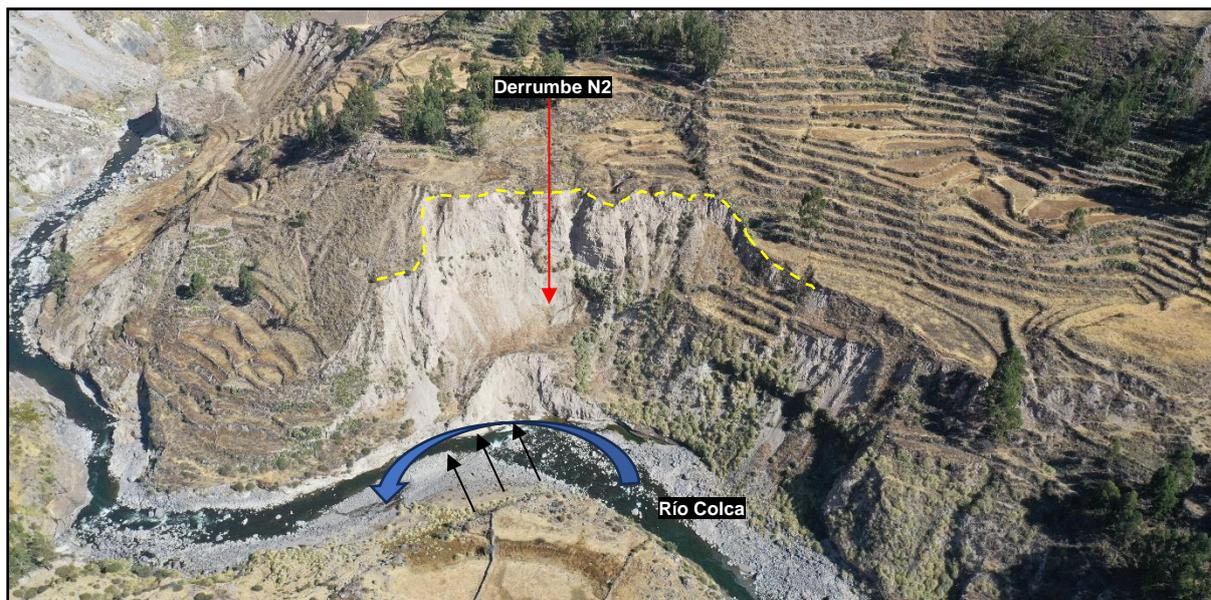


Figura 11. Derrumbes en el sector Uncollo, debido a erosión fluvial del río Colca.

Avalancha de detritos

En el sector Arcocollo, en la parte alta de la trocha que comunica las localidades de Lari con Pinchollo y Maca; se aprecia una serie de cicatrices de roturas, desde donde caen detritos, formando avalancha de detritos, cuyo proceso geodinámico es acelerado por acción eólica (erosión eólica). En el sector afloran rocas no consolidados, los cuales son de fácil erosión (figura 12).

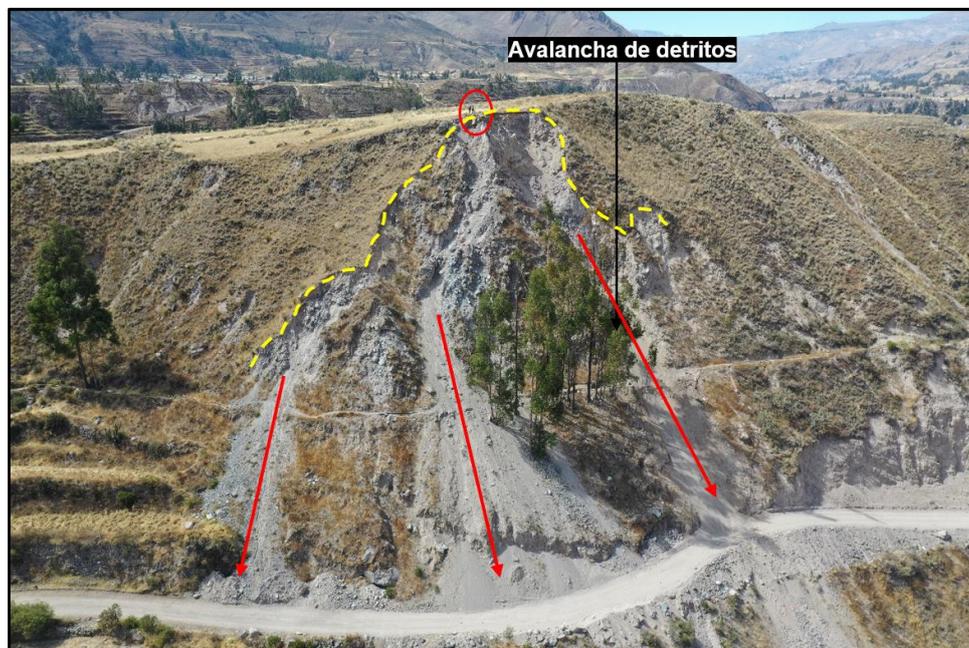


Figura 12. Avalancha de detritos en el sector Arcocollo, en la parte baja se aprecia la vía que comunica Lari con Pinchillo y Maca.

Los depósitos de avalanchas de detritos se mantienen adosados, presentan formas alargadas, en la parte baja exponen una geometría de abanico, conformado por cantos y gravas de composición heterogénea, además de arenas y limos; el depósito es no

consolidado. La zona de arranque presenta una cicatriz irregular de 90 m, el evento posee un desnivel de 30 m.

Es importante tomar en cuenta las alternativas, para el manejo de problemas por peligros geológicos por caída de rocas y avalancha de detritos, el cual se describe amplexamente en el **(Anexo 2)**

5.2. Factores condicionantes

- Incompetencia del material no consolidado, conformado por depósitos de conglomerados de origen aluvial-lacustre intercalados con capas de arenas y limoarcillitas. Las observaciones de campo permitieron corroborar que los depósitos de limoarcillitas se encuentran saturados de agua.
- Influencia de las aguas subterráneas (surgencias, ojos de agua, manantiales, bofedales).
- 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°).

5.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias; las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento.
- Influencia Antrópica: El tipo de riego en la zona agrícola es por inundación. Además, se observa canales no revestidos y con pocas grietas. Esto genera infiltraciones de agua y un efecto perjudicial sobre los suelos no consolidados.
- 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

1. Litológicamente en el área afloran depósitos de avalanchas de rocas del volcán Hualca Hualca, el cual está conformado por fragmentos heterogéneos y tamaño heterométrico, que en conjunto son depósitos no consolidados, friables. Asimismo, se aprecia un depósito lacustrino de diatomita no consolidados, compuestos por intercalaciones de limoarcillitas con niveles delgados de areniscas finas de color pardo, con espesor promedio de 30 m, hacia el tope se observan niveles de conglomerados polimícticos. También se aprecian depósitos, proluviales; coluvio-deluvial; coluvial; coluviales y fluviales, los cuales se presentan de manera no consolidado.
2. Geomorfológicamente el sector evaluado se ubica sobre, vertiente con depósito de deslizamiento, terraza alta aluvial, terraza alta aluvial y terraza aluvial.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el sector Arcocollo, corresponde a avalancha de detritos y derrumbes, asimismo en el sector Uncollo, se identificaron peligros por deslizamiento y derrumbes.
4. Los peligros geológicos están condicionados por: materiales cuaternarios no consolidados, conformados desde fragmentos heterogéneos; depósito lacustrino con niveles de conglomerados, así como proluviales; coluvio-deluvial; coluvial; coluviales y fluviales, los cuales se presentan no consolidados. Además, la pendiente de terreno varía 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 ($>45^{\circ}$).
5. Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, los sectores Arcocollo y Uncollo son considerados **Peligro moderado a Alto**, en la zona se aprecian derrumbes, deslizamientos y avalancha de detritos.

7. RECOMENDACIONES

1. Es necesario controlar y monitorear que las condiciones normales de los suelos en los sectores Arcocollo y Uncollo, se mantengan, para así mantener el grado de peligrosidad actual.
2. Para disminuir el avance del movimiento en masa, se debe controlar y evitar las infiltraciones de agua en el suelo, haciéndolo principalmente con un cambio de técnicas de riego, con asesoramiento de las entidades correspondientes. Además de trasladar las aguas que surgen en los sectores Arcocollo y Uncollo, hasta zonas alejadas de los deslizamientos, para evitar la saturación de los terrenos.
3. Todos los reservorios y canales de agua en el sector deberían ser impermeabilizados para evitar la infiltración en los terrenos. Con el objetivo de conducir adecuadamente las aguas pluviales, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie incluyendo canales (tubería de PVC o manguera flexibles) para evitar infiltraciones de agua al subsuelo.
4. En el sector Arcocollo, se debe implementar alternativas para el manejo de problemas por peligros geológicos de tipo avalancha de detritos, descritos ampliamente en el anexo 2.
5. 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 área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.



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>

Cerpa et al., 2009. Geología del cuadrángulo de Chivay (32-s-I) a escala 1: 50 000, elaboradas por INGEMMET.

Mariño, J., & Macedo, L. (2012). Mapa geológico a escala 1/25,000 del valle del Colca (Arequipa): herramienta para la gestión de riesgos y la planificación del turismo.

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, Transportation 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, Transportation 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.** Geología de los sectores Arcocollo y Uncollo: Tomado y modificado Cerpa et al., 2009. Geología del cuadrángulo de Chivay (32-s-I) a escala 1: 50 000, elaboradas por INGEMMET.
- **Mapa N°2.** Pendientes de los terrenos en los sectores Arcocollo y Uncollo.
- **Mapa N°3.** Geomorfología de los sectores Arcocollo y Uncollo: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°8.** Cartografía de peligros geológicos en los sectores Arcocollo y Uncollo.

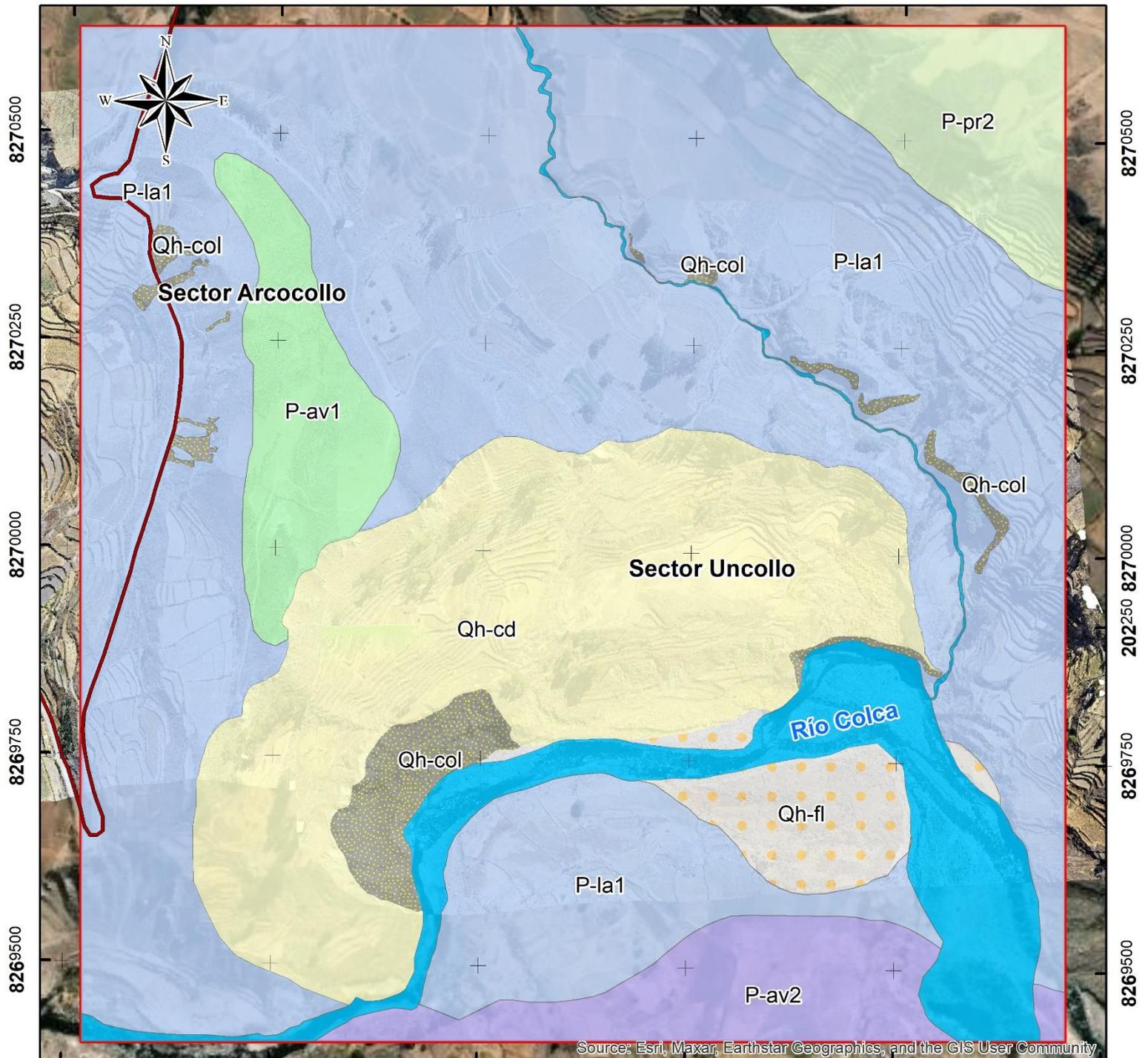
201000

201250

201500

201750

202000



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



Depósito de avalancha



Sector Uncollo

Unidades litoestratigráficas			
Qh-cd	Depósito coluvio deluvial	Qh-col	Depósito coluvial
P-pr2	Depósito proluvial	Qh-al	Depósito fluvial
P-av2	Depósito 2 de avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca		
P-la1	Depósito lacustrino con una secuencia de limoarcillita		
P-av1	Depósito 1 de avalancha de rocas del volcán Hualca Hualca		



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

GEOLOGÍA DE LOS SECTORES ARCOCOLLO Y UNCOLLO

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:7,000 0 50 100 200 m	Mapa N° 1
--	-------------------------------------	-----------

201000

201250

201500

201750

202000

8270500

8270250

8270000

8269750

8269500

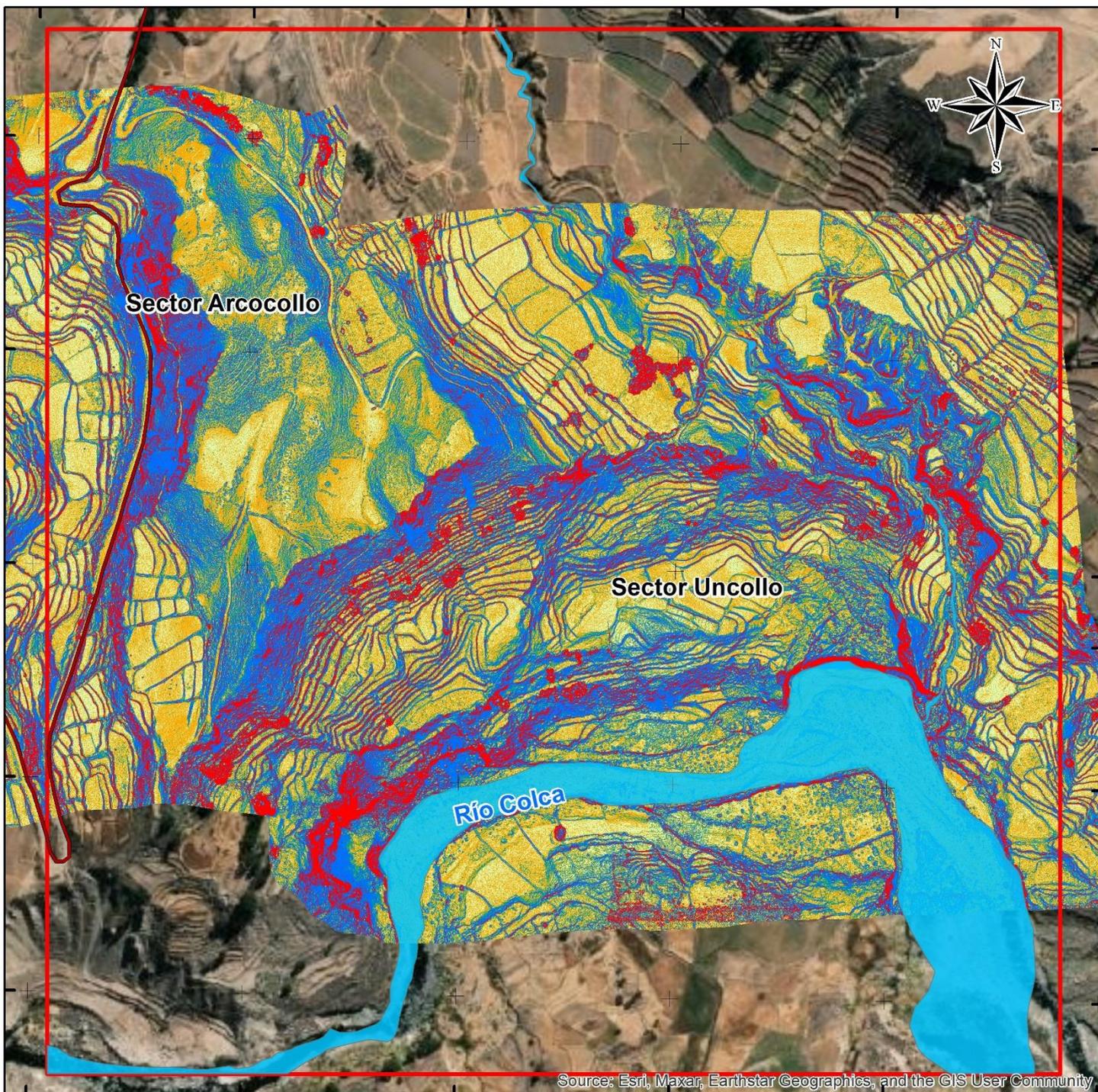
8270500

8270250

8270000

8269750

8269500



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



Depósito de avalancha



Sector Uncollo

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

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

PENDIENTES DEL LOS SECTORES ARCOCOLLO Y UNCULLO

Proyección UTM	Escala 1:7,000	
Datum WGS 84	0 50 100 200	Mapa N° 2
Zona 19S	 m	

201000

201250

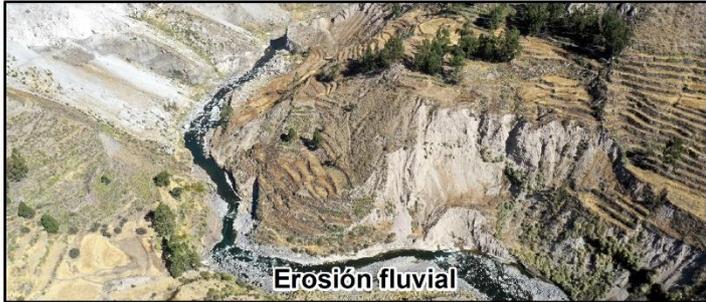
201500

201750

202000



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



Erosión fluvial



Sector Uncollo

Unidades geomorfológicas	
T-al	Terraza aluvial
Ta-al	Terraza alta aluvial
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**GEOMORFOLÓGIA DE LOS SECTORES
ARCOCOLLO Y UNCOLLO**

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:7,000 0 50 100 200 m	Mapa N° 3
--	-------------------------------------	-----------

201000

201250

201500

201750

202000

8270500

8270250

8270000

8269750

8269500

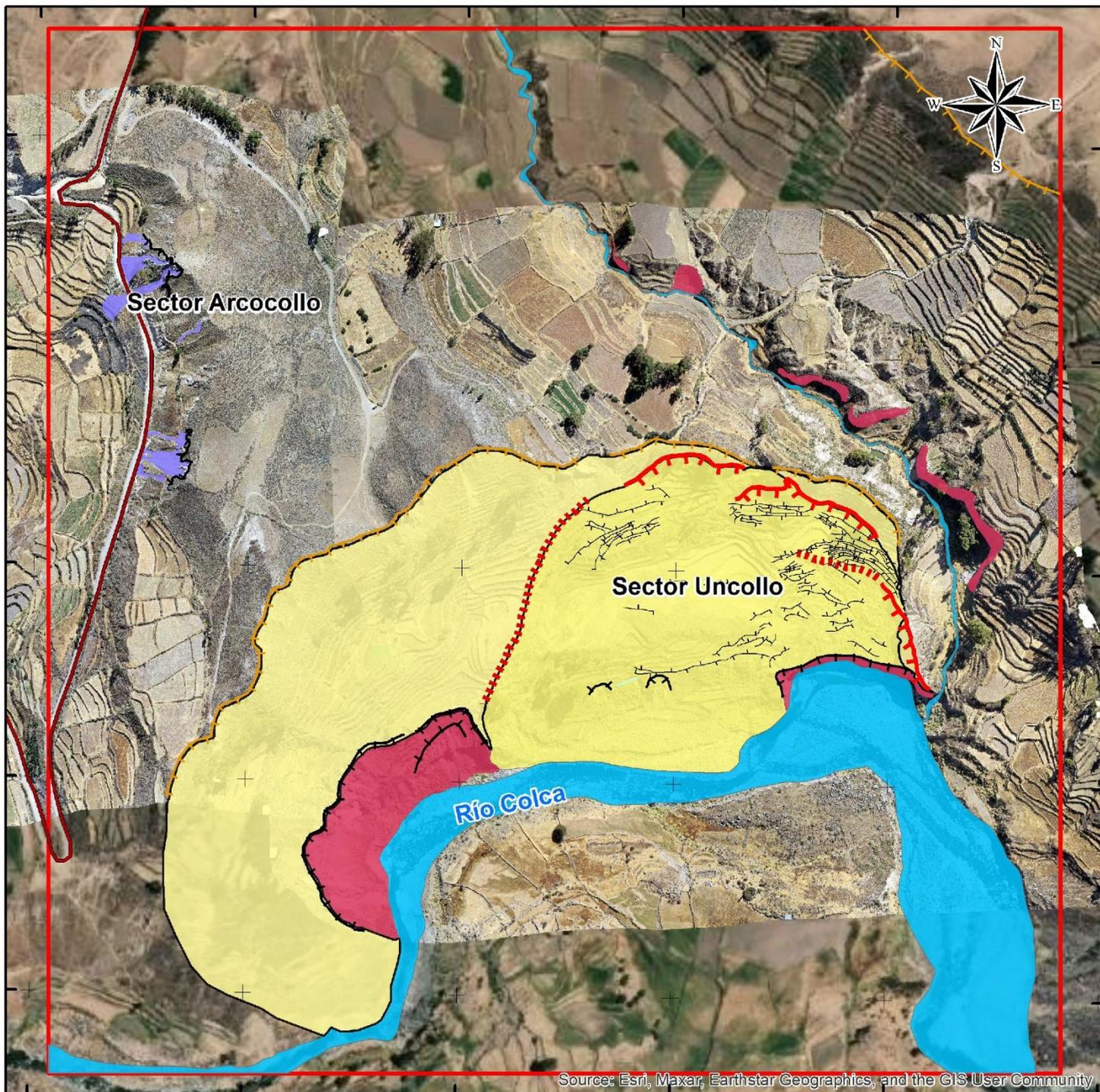
8270500

8270250

8270000

8269750

8269500



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



Depósito de avalancha



Sector Uncollo

Peligros geológicos

-  Avalancha de detritos
-  Derrumbes
-  Grietas
-  Deslizamiento rotacional latente
-  Deslizamiento rotacional abandonado

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLOGICOS DEL LOS SECTORES ARCOCOLLO Y UNCOLLO

Proyección UTM	Escala 1:7,000	Mapa N° 4
Datum WGS 84	0 50 100 200 m	
Zona 19S		

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 derrumbes, deslizamientos y avalancha de detritos, 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 y avalancha de detritos.

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 13).

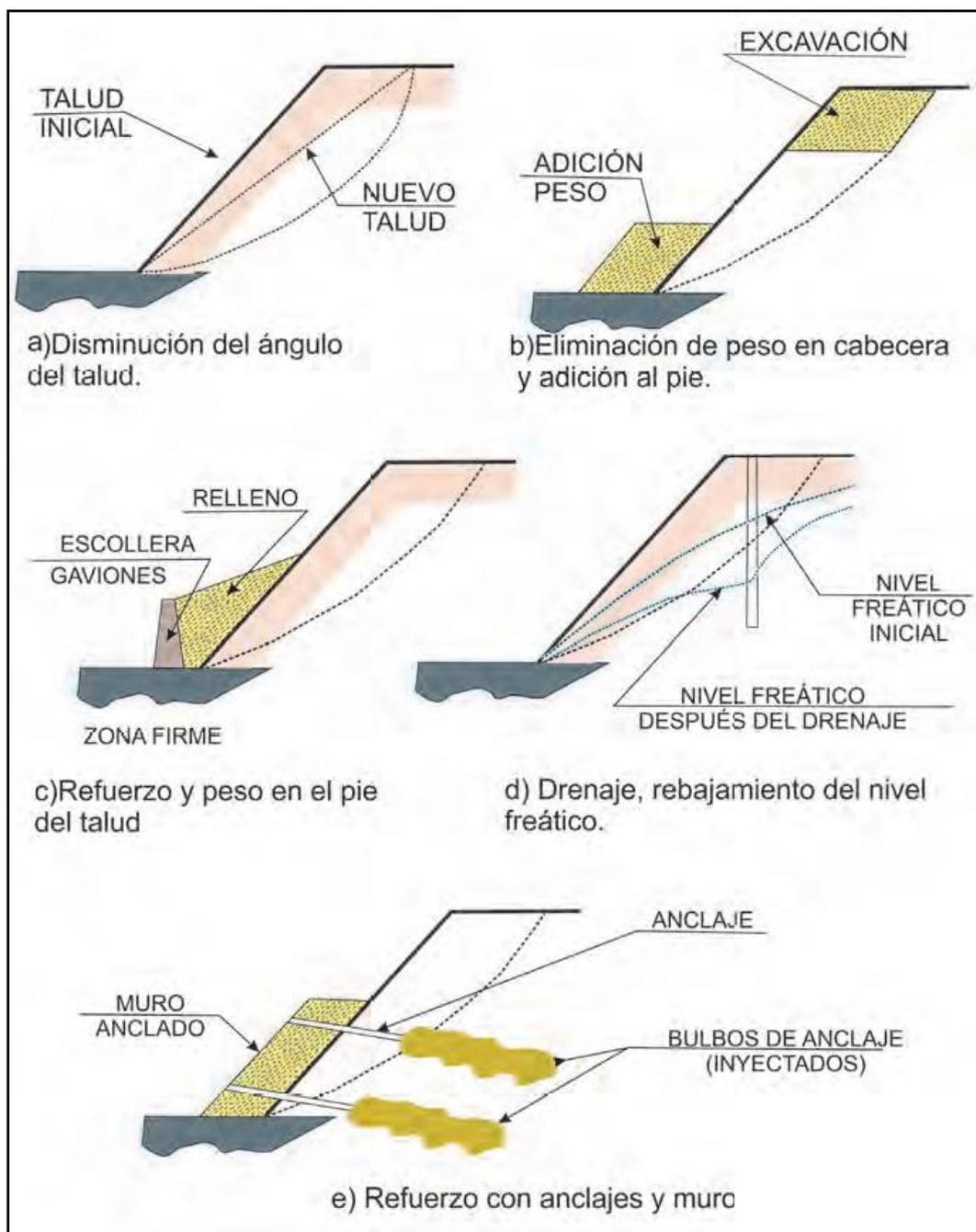


Figura 13. Mitigación de peligros por caídas de rocas, derrumbes y avalancha de detritos, (Vilchez, 2021)

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 14), 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 15). En ambos casos, es necesaria la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

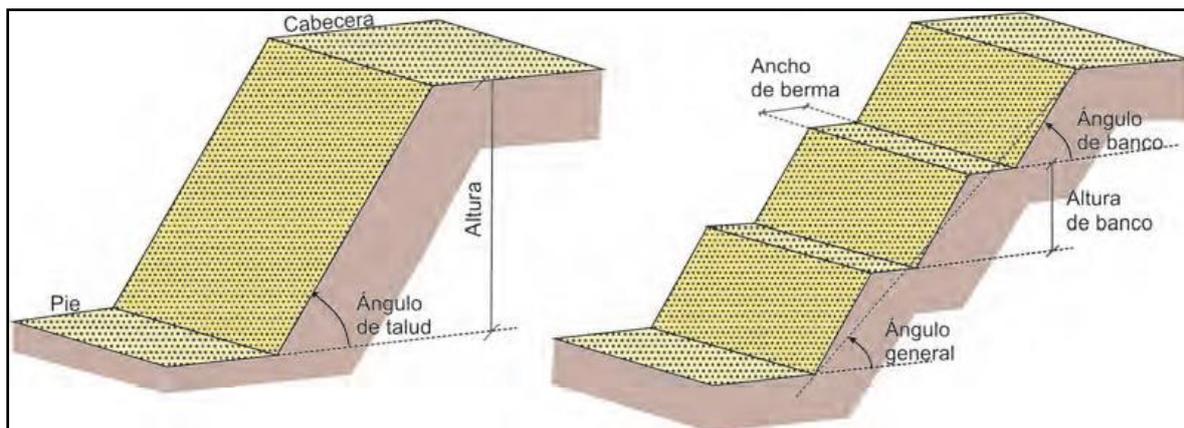


Figura 14. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

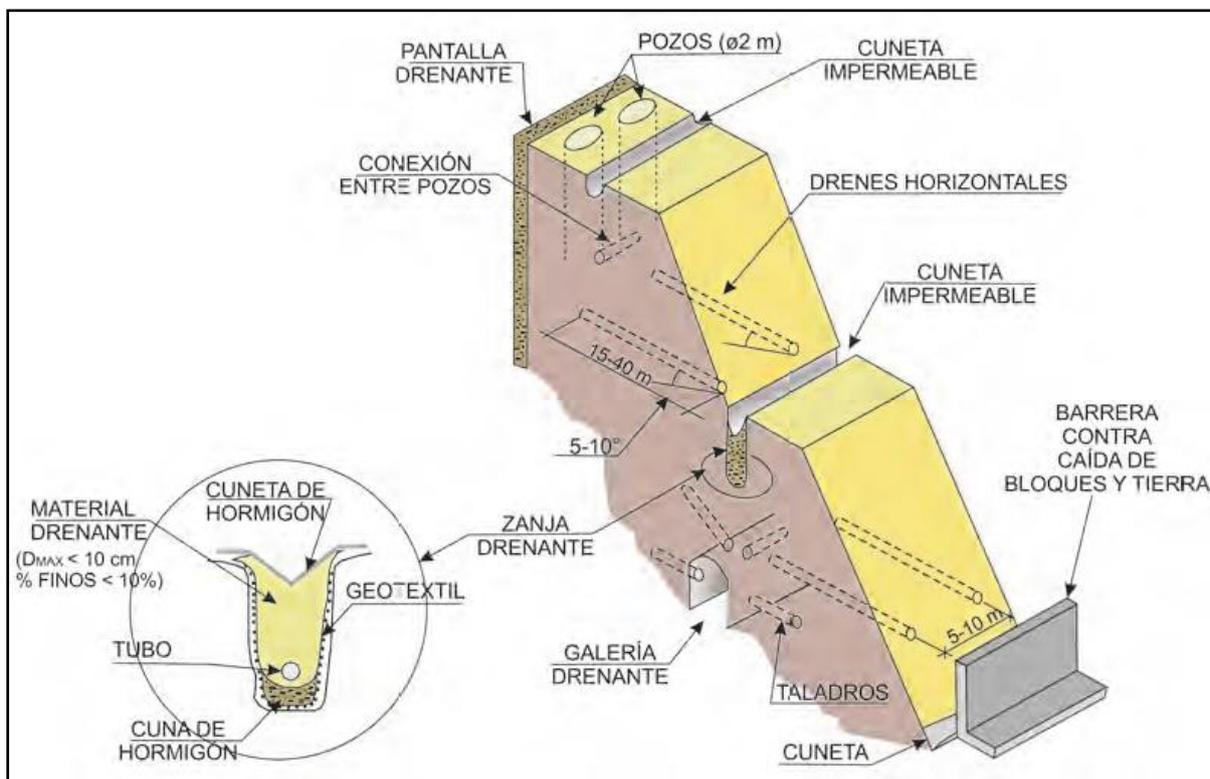


Figura 15. Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilchez, 2021)

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 16). Otro sistema es el uso de muros, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 17). 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 18); 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 19).

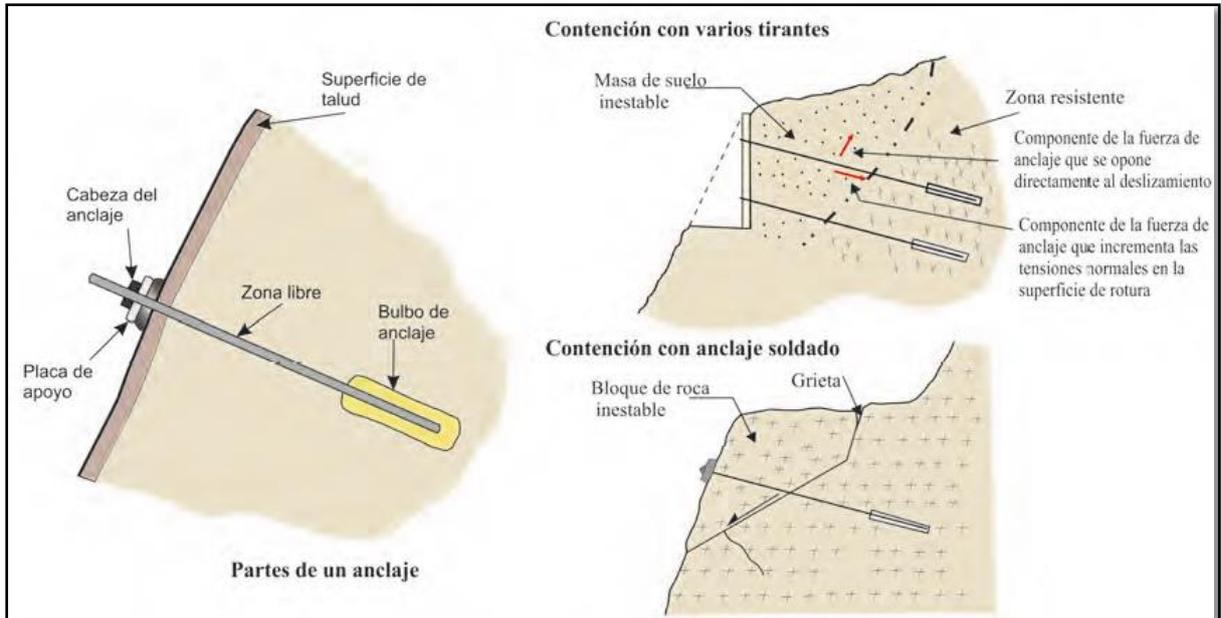


Figura 16. Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

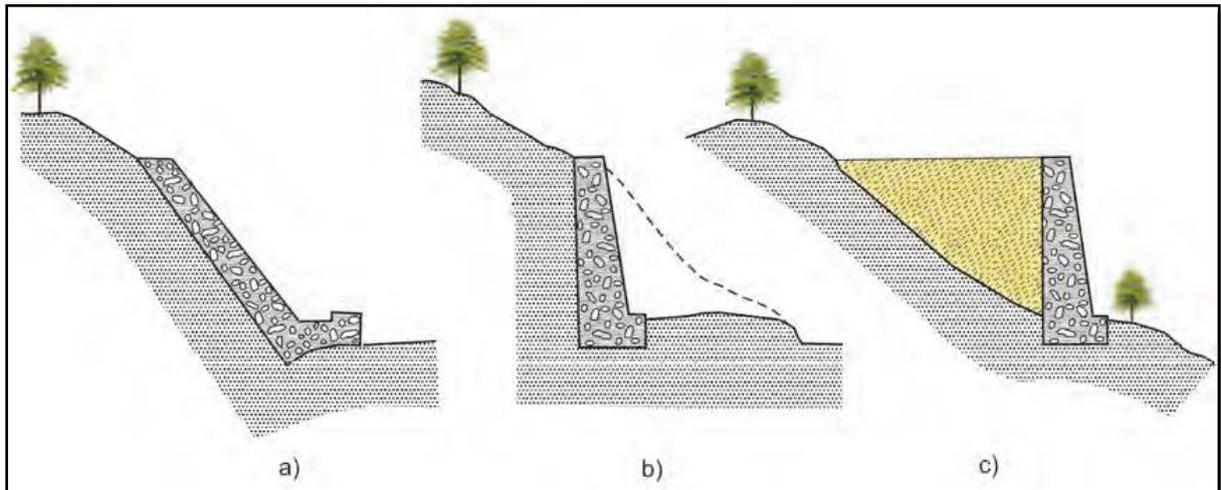


Figura 17. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

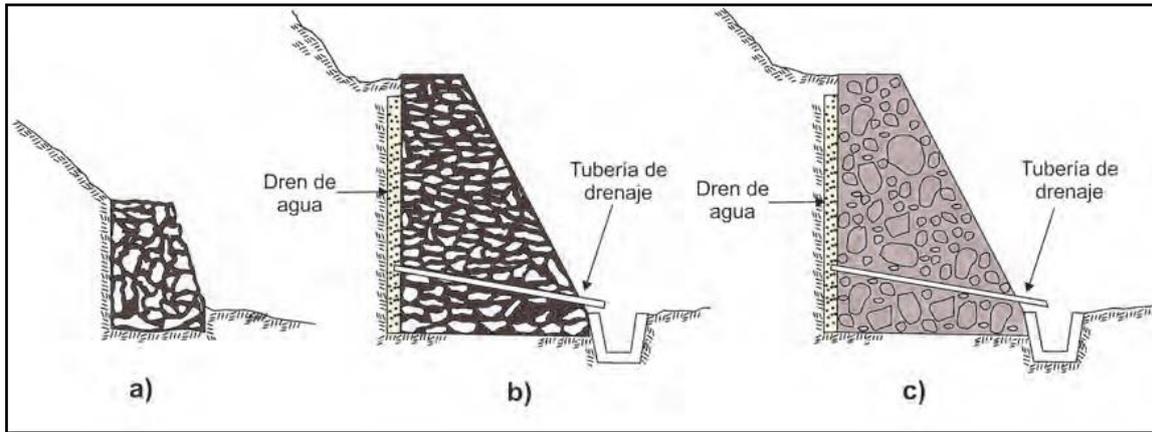


Figura 18. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

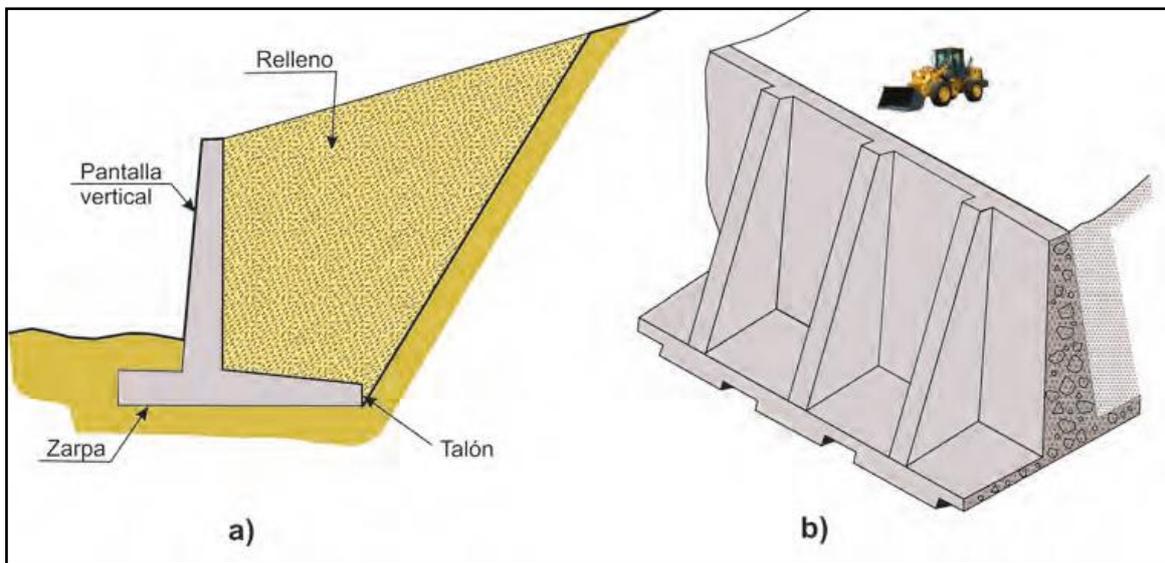


Figura 19. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

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 20).

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 21).

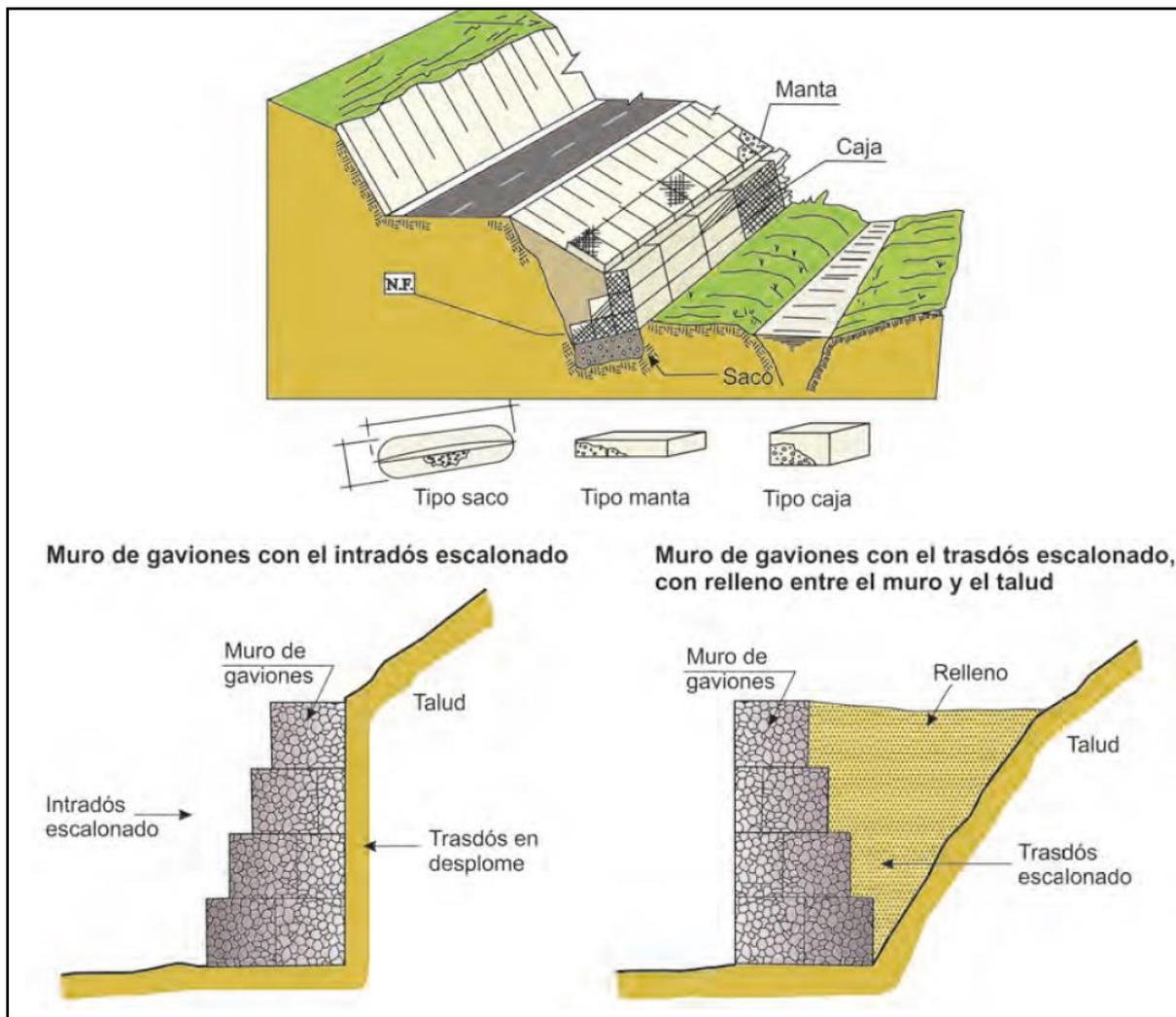


Figura 20. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

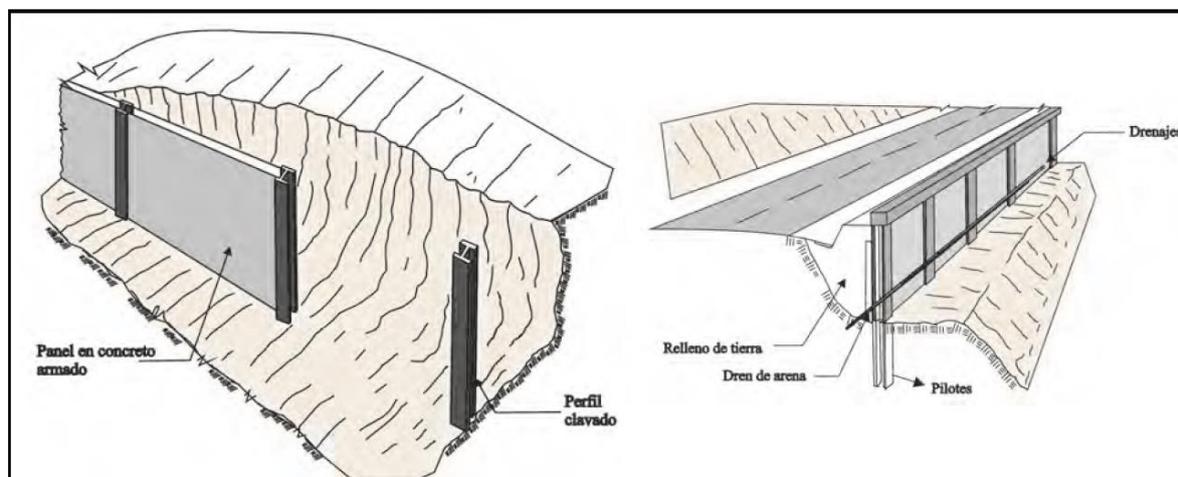


Figura 21. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilchez, 2021)

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 22).



Figura 22. Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada, (Vilchez, 2021)