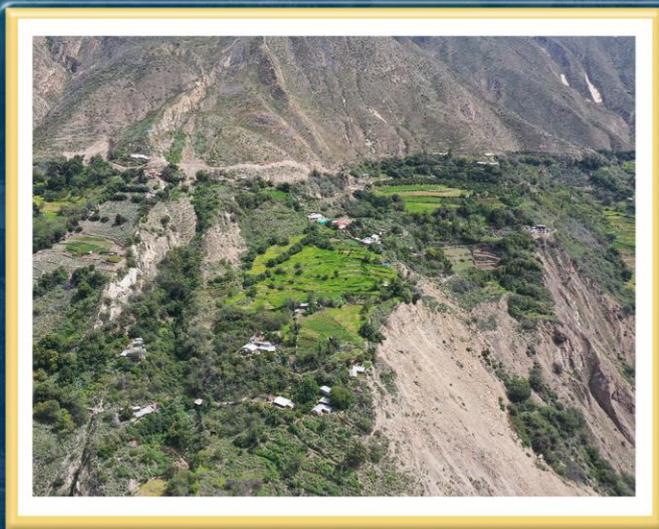


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7418

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO YACMES

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Tipan



SETIEMBRE
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO YACMES

Distrito Tipan, provincia Castilla, 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 el anexo Yacmes. Distrito Tipan, provincia Castilla, departamento Arequipa. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7418, 46 p.

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	4
1.3.3. Precipitación pluvial	4
1.3.4. Población	4
2. DEFINICIONES	6
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	8
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	9
4.1 Pendiente del terreno	9
4.2 Unidades geomorfológicas	9
4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos	9
4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional	10
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	11
5.1.1. Sectores El Morro y El Blanco	11
5.1.2. Sector Capellanía	14
5.1.3. Sector el Sauce y Mulliyoc	16
5.2. Otros peligros geológicos - Procesos de erosión de ladera (cárcavas)	24
5.3. Factores condicionantes	25
5.4. Factores desencadenantes	25
6. CONCLUSIONES	27
7. RECOMENDACIONES	29
8. BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXO 1: MAPAS	32
ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	37

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el anexo Yacmes, en el distrito Tipan, provincia Castilla, 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).

En el área evaluada, afloran rocas de la Formación Labra, conformadas por areniscas estratificadas con paquetes de limolitas, en los niveles inferiores con lutitas carbonosas con restos de flora mal conservada; son rocas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas.

Se tienen rocas del centro volcánico Coropuna, compuesto de tobas con cristales de biotita y cuarzo, se aprecia ligeramente meteorizada y medianamente fracturada.

Tenemos depósitos cuaternarios, como: **a)** aluviales, compuesto por acumulaciones de sedimentos inconsolidados por cantos subredondeados, heterogéneos, envueltos en una matriz de limos, arenas y ocasionalmente de arcillas, **b)** coluviales conformado por bloques rocosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, los bloques angulosos más gruesos, se encuentran en la base de las montañas y con tamaños menores (arenas y limos) disminuyen gradualmente hacia el ápice. Estos suelos son sueltos poco cohesivos, y conforman taludes de reposo poco estables.

Los trabajos de evaluación de peligros geológicos se realizaron en los sectores El Morro; El Blanco, Capellanía, El Sauce y Mulliyoc, se identificaron procesos de movimientos en masa. Según el siguiente detalle:

- a. Sectores El Morro y El Blanco se presentan deslizamientos rotacionales y traslacionales, derrumbes, reptación y flujos de detritos. Los deslizamientos son considerados como eventos antiguos-reactivados.
- b. Sector Capellanía, se identificó deslizamientos traslacionales antiguo, con reactivaciones en su cuerpo, a manera de deslizamientos rotacionales y derrumbes, donde se muestra asentamiento del terreno. Además, se observaron proceso de erosión de ladera (cárcavas).
- c. Sectores El Sauce y Mulliyoc, se tiene el evento más importante y de mayor actividad, un deslizamiento traslacional (denominado deslizamiento Yacmes), controlado por el tipo de roca, estratificación de las rocas sedimentarias y la familia de fracturas principales, se observa asentamientos de terrenos; el empuje de la masa deslizada ha producido derrumbes en el pie del deslizamiento. Este evento en algún momento llegó a represar el río Tastane, en el sector de Uto,

El deslizamiento Yacmes, denominado como Dt5, es traslacional, considerado como activo, presenta forma alargada, la corona posee una configuración de “V” invertida, con longitud de 620 m, la distancia desde la corona hasta el pie del deslizamiento es 800 m. Este evento presenta un desnivel de 290 m; la masa movilizada se estima que afectó un área 21 has. Durante los trabajos de campo, en el cuerpo del deslizamiento se identificaron derrumbes al pie del deslizamiento, aparentemente por el empuje de la masa y erosión fluvial del río Sihuarpo.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: **a)** litología diversa de areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas, tobas poco consolidados, del Centro Volcánico Coropuna, coberturados por depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, poco consolidados; **b)** Terrenos con pendientes que varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°), como también muy fuertes

(25°- 45°), y sectores encañonados muy escapados (>45°), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo y **c)** presencia de unidades geomorfológicas montaña en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente glacio-fluvial.

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, los sectores El Sauce, Mulliyoc, Uto y demás sectores que se encuentran dentro de los límites del deslizamiento activo Yacmes, se consideran de **Peligro Muy Alto y Zona Crítica**, Así mismo, los sectores Capellánía, El Morro y El Blanco, son consideradas de **Peligro Moderado**, está representado por la reactivación de los deslizamientos antiguos, derrumbes activos y generación de flujos de detritos.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como, prohibir la construcción de nuevas viviendas dentro de la zona afectada por deslizamiento y considerar la alternativa de reubicación de viviendas ubicados en el cuerpo del deslizamiento Yacmes. El área de acogida debe realizarse a zona en el cual no se observen perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.

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° 681-2022-GRA/ORGRDDN; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el anexo Yacmes, distrito Tipan, provincia Casilla, departamento Arequipa

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan la zona urbana. Los trabajos de campo se realizaron del 29 de marzo al 01 de abril 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 los peligros geológicos que se presentan en el anexo Yacmes; 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 en el 2007 se produjo deslizamientos, derrumbes y represamiento en la quebrada Tumpullo o Sihuarpo. El evento afectó al anexo de Yacmes, en el distrito de Tipan.
- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2008). Peligros geológicos en el anexo Yacmes. Distrito Tipan, Provincia Castilla, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A5750, 37p. En el

mes de agosto del 2007, se produjo deslizamiento en el anexo de Yacmes, y un derrumbe que afectó terrenos de cultivo, destruyó caminos peatonales y cubrió la bocatoma de un canal de riego, además represó la quebrada Tumpullo o Sihuarpo.

- c) Quispesivana, P. (2001). Mapa geológico del cuadrángulo Chuquibamba (32-q). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET. Detalla la litoestratigrafía existente en el distrito de Tipan, en el anexo Yacmes.
- d) Análisis integral de riesgos de desastres naturales en el distrito de Tipan (Anexos de Chupacra, Tagre y Yacmes) – Proyecto: Gestión de riesgo de desastres naturales con enfoque de seguridad alimentaria, elaborado por el Gobierno Regional de Arequipa, PGRD – COPASA y Cooperación Técnica Alemana (GTZ), (2003). En el estudio hacen mención de la existencia de deslizamientos en el distrito de Tipan.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al anexo Yacmes, ubicado en el distrito Tipan, provincia Castilla, departamento Arequipa (figura 1); en las coordenadas siguientes:

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

<i>Punto</i>	<i>UTM - WGS84 - Zona 18S</i>		<i>Geográficas</i>	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
1	765761	8258131	-15.728999°	-72.520038°
2	765761	8259481	-15.728829°	-72.505164°
3	767356	8259481	-15.741041°	-72.505025°
4	767355	8258129	-15.741192°	-72.519890°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>Punto Central</i>	766479	8258818	-15.734911°	-72.513270°

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al anexo Yacmes es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, mediante la siguiente ruta:

Tabla 2. Ruta de acceso al anexo de Yacmes

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa – Aplao	Asfaltada	178	3 hora y 10 min
Aplao – Tipan	Asfaltada	56	1 hora y 21 min
Tipan - Yacmes	Trocha carrozable	3.4	25 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 Machahuay, 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 Machahuay, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 50 mm.

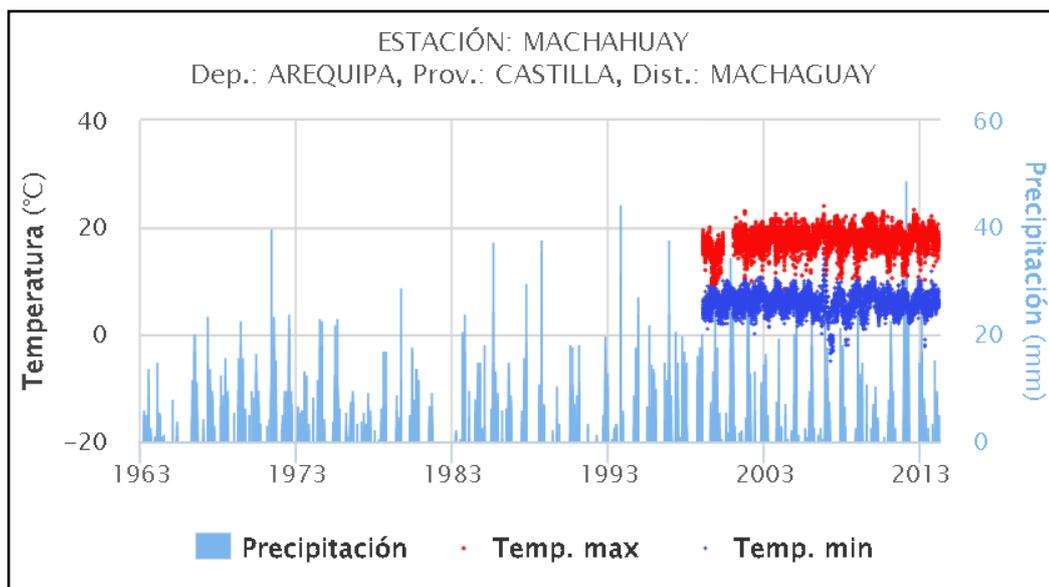


Figura 2. Precipitación diaria según la estación Machahuay. Fuente: Senamhi.

1.3.4. Población

El distrito Tipan es uno de los distritos menos poblado de la provincia de Castilla, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 432 personas (figuras 3 y 4).

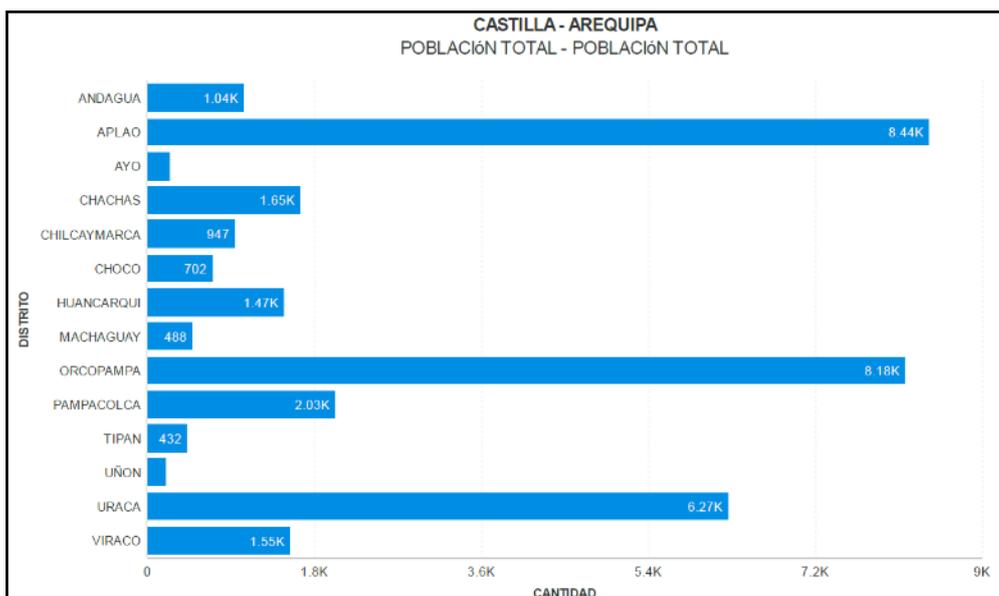


Figura 3. Población de la provincia de Castilla "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

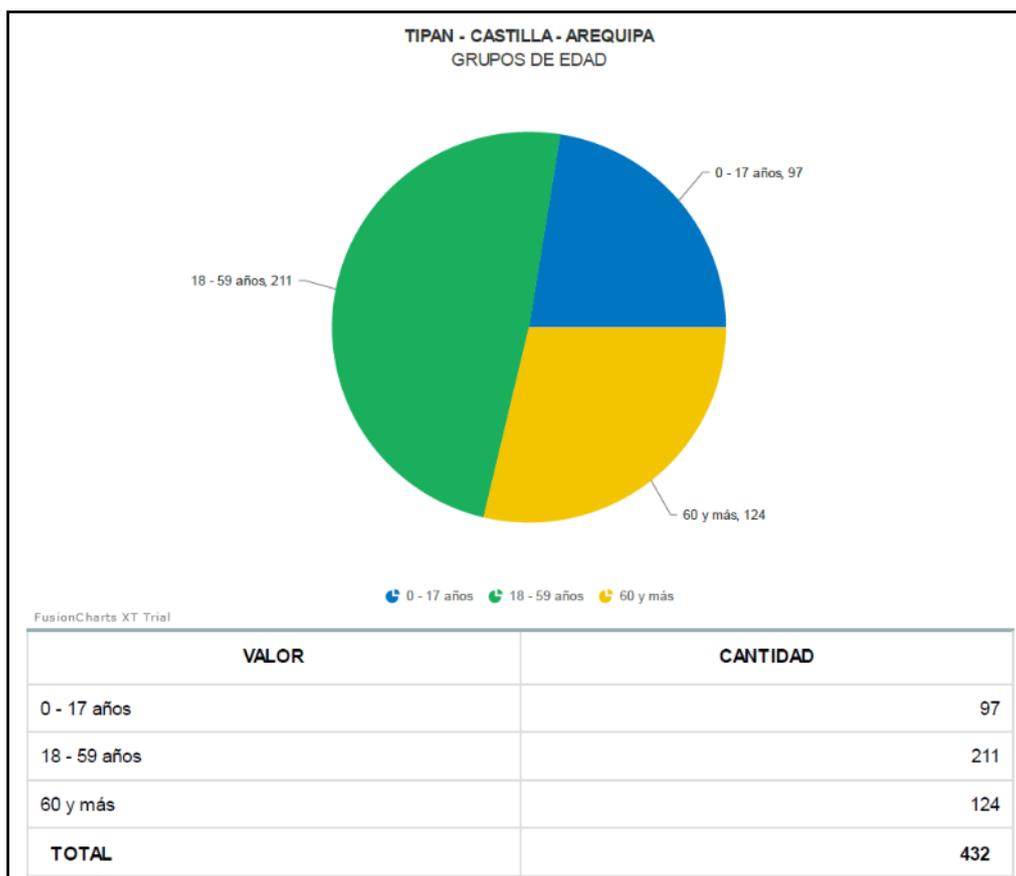


Figura 4. Población del distrito de Tipan. (<https://cenepred.gob.pe/web/>)
 Según el Censo Nacional 2017, en el distrito Tipan las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 97 personas; (18-59 años) 211 personas y (60 años a más) 124 personas.

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 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 Chuquibamba (32-q). Quispesivana, P. (2001). 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 a escala 1:50 000.

Se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo. (Anexo 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Formación Labra - Js-l3: Areniscas claras, en los niveles superiores se presentan estratificados con paquetes de limolitas grises, en los niveles inferiores consisten de lutitas carbonosas con restos de flora mal conservada. Tiene un grosor aproximado de 100 m, aflora en inmediaciones del anexo Yacmes. Las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas.

Centro Volcánico Coropuna - Evento 2 - Qp-coE2: Tobas de cristales de color gris violáceo con cristales de biotita y cuarzo, se presentan en las partes bajas de las laderas. Se aprecia ligeramente meteorizada y medianamente fracturada.

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

Depósito coluvial – Qh-col: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad. Estos 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, por estar inconsolidados, son susceptibles a ser removidos por la acción hídrica (lluvia) o por perturbaciones antrópicas (corte de talud) que desestabilizan la ladera.

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

Se aprecian en la parte baja del sector Yacmes, formado por derrumbes en la margen izquierda de las quebradas el Potrero y La Florida.

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 (Vílchez et al.,2019). Se presenta en el cuerpo del deslizamiento en el sector Yacmes.

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 de pendientes muy escapados (>45°). (figura 5).

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).

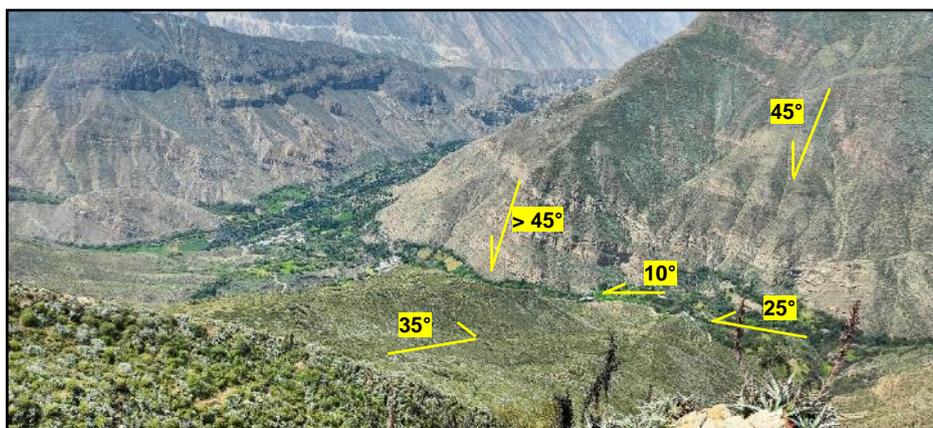


Figura 5. Pendientes en el anexo Yacmes.

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 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, 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. Las laderas erosionadas presentan pendientes que varían desde fuertes hasta abruptas (25° - 50°). Litológicamente está compuesta por secuencias de areniscas y lutitas, las cuales se caracterizan por presentar derrumbes y deslizamientos.

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 de Yacmes, está ubicada sobre esta subunidad geomorfológica.

Vertiente glacio-fluvial (V-gfl): Formada por la acumulación de materiales de origen glaciar, los cuales han sido transportadas y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o por precipitaciones pluviales que se concentran; forman cursos de agua y transportan los materiales sueltos, Gomez & Pari (2020). El anexo de Yacmes está ubicado sobre esta unidad geomorfológica.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el anexo Yacmes, corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, caída de rocas, avalancha de detritos, así 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 6), 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). Próximo a la zona cruza la falla Pampacolca-Quichuaña, Benavente, et al (2017).

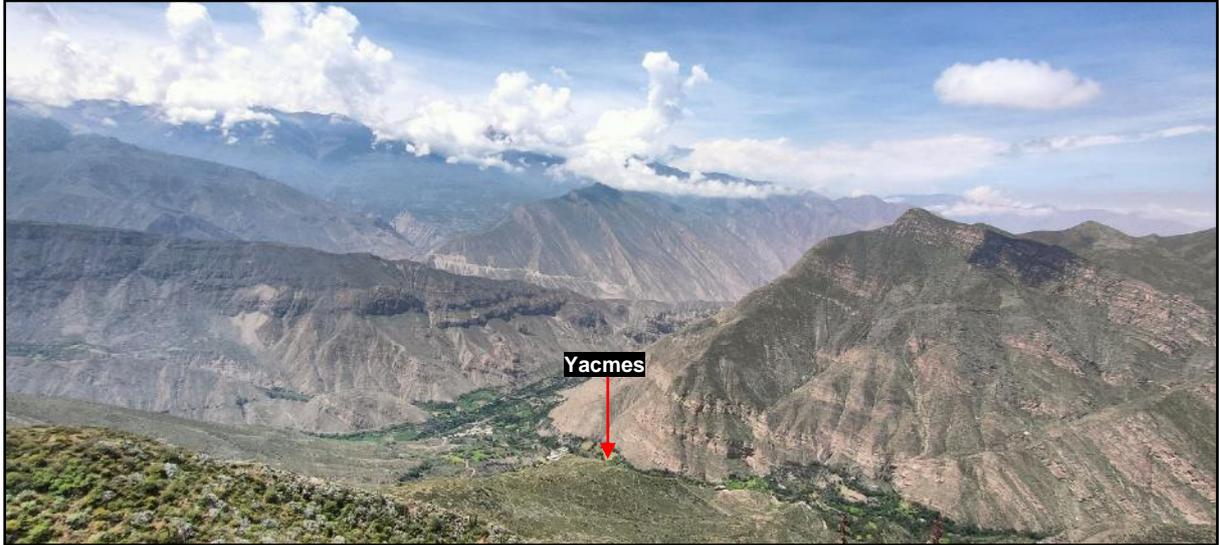


Figura 6. Incisión sufrida en los cursos de los ríos en la Cordillera de los Andes.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los trabajos de evaluación de peligros geológicos se realizaron en los sectores El Morro; El Blanco, Capellanía, El Sauce y Mulliyoc. Donde se identificaron procesos de movimientos en masa descritos líneas abajo.

5.1.1. Sectores El Morro y El Blanco

Comprenden la entrada al anexo Yacmes, en la margen izquierda del río Tastane, donde se identifican tres eventos de deslizamiento traslacional denominados como Dt1, Dt2, Dt3, derrumbes, flujo de detritos y reptación de suelos.

Deslizamiento traslacional

Los deslizamientos ubicados en las cabeceras de la quebrada La Florida, tienen su plano de deslizamiento en el contacto roca - suelos, el cual ha producido el desgarre de la cobertura de suelo en la ladera.

Dt1: Es el deslizamiento más antiguo del grupo de deslizamientos en este sector, posee una corona de 1000 m de longitud, se extiende desde los 2620 a los 2130, es decir posee un desnivel de 490 m, el alto del salto del escarpe es de 250 metros, (figura 4).

El deslizamiento presenta una zona reactivada poco definido, y presenta un salto de escarpe de hasta 15 m. Vilchez; M. (2008).

Dt2: Se trata de un deslizamiento, con corona poco definido, posee una forma de U invertida y tiene 740 m de longitud, del pie a la corona posee 338 m de alto, comprendidos entre las cotas (2438 y 2100), además de una escarpa de forma poco regular continua, con un ancho de 260 m y un salto principal de unos 10 m aproximadamente. (figura 4).

Calificado como de edad inactivo-joven (McCalpin, 1984), reactivado (WT/WLI, 1993; en Santacana, 2001), con una velocidad de movimiento extremadamente lenta (Cruden y Varnes, 1996), según informe técnico realizado por, Vilchez; M. (2008).

Dt3: La reactivación en el cuerpo de este deslizamiento, ha producido asentamientos del terreno, se observó un escarpe de con longitud de 700 m, con salto principal de 7 m. Dentro del cuerpo del deslizamiento se desarrollan actividades agrícolas y se asientan aproximadamente ocho viviendas (figuras 7 y 8).

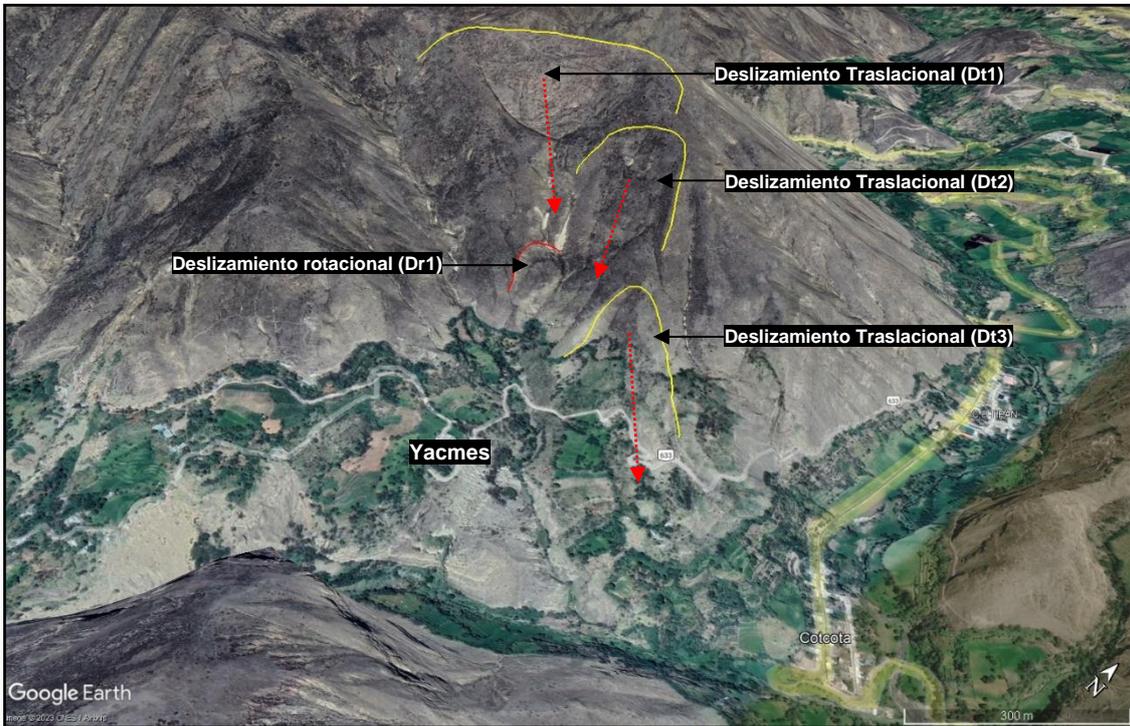


Figura 7. Incisión sufrida en los cursos de los ríos en la Cordillera de los Andes.

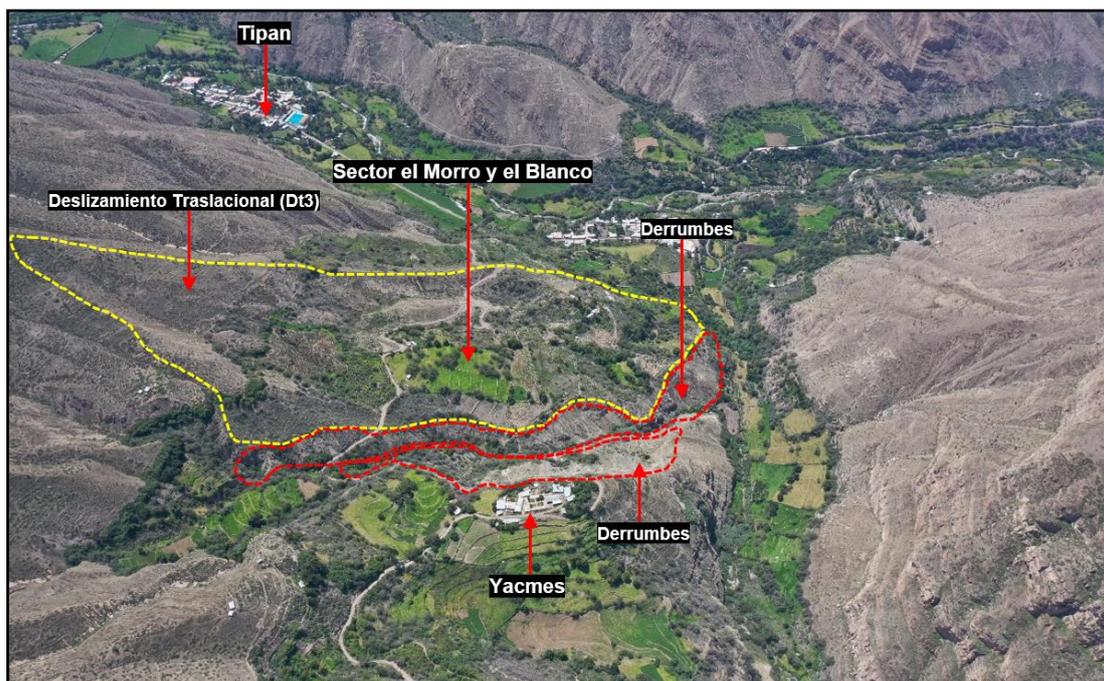


Figura 8. Deslizamiento y derrumbes en el sector Morro y El Blanco

Deslizamiento rotacional: Se ubica en la margen derecha de la quebrada La Florida,

Dr1: Posee una escarpa de forma irregular discontinua, con longitud de 250 m con salto de escarpe es de unos 5 m. El deslizamiento se encuentra entre las cotas de 2225 y 2135, es decir posee un desnivel de 90 m (figura 9).

Derrumbes

Se presentan a lo largo de ambas márgenes de las quebradas El Potrero y La Florida, 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 huacos.

De todos estos eventos identificados, se tiene que destacar el derrumbe ubicado en la margen izquierda de la quebrada La Florida, específicamente debajo del sector El Morro, así como el derrumbe que se ubica en la parte baja de la zona urbana de Yacmes, donde se presentan depósitos coluviales, conformado por los materiales caídos (arenas, cantos, gravas y bloques) que provienen de las areniscas, limolitas y lutitas muy fracturadas del Grupo Yura, Este proceso se considera activo, con probabilidad de seguir desarrollándose de forma retrogresiva.

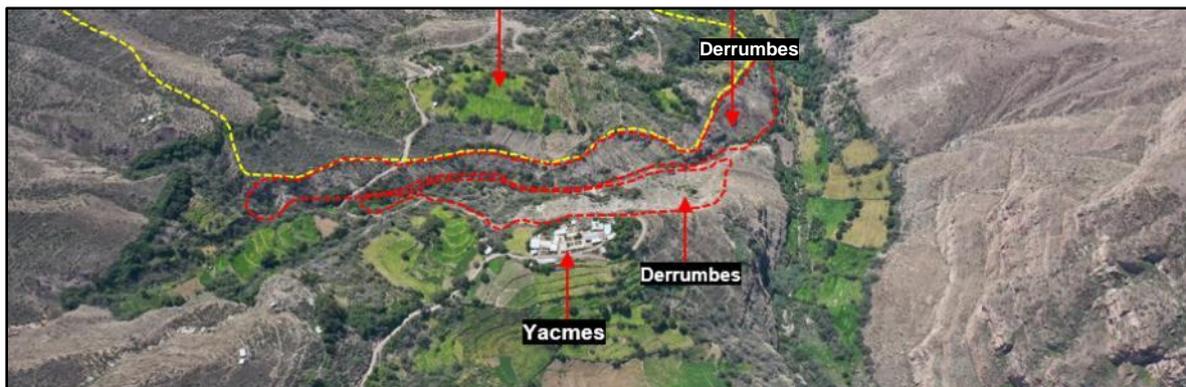


Figura 9. Derrumbes en el sector Morro, el Blanco y Yacmes.

Flujos de detritos (huaycos)

En el cauce de la quebrada La Florida, se observan depósitos sueltos de fragmentos de rocas y suelos, provenientes de la caída de rocas y derrumbes que se presentan en la parte baja de la zona.

Estos eventos se pueden presentar de manera excepcional por el cauce de la quebrada La Florida, puesto que solo se necesita abundantes precipitaciones pluviales, que concentren flujos de agua por la quebrada, sobresaturen los materiales provenientes de los derrumbe y deslizamientos anteriormente descritos, y se movilicen ladera abajo, pudiendo alcanzar y continuar su recorrido por el cauce del río Tumpullo o producir pequeños represamientos. Vilchez; M. (2008).

Reptación

Este tipo de proceso ha sido identificado en lado suroeste de El Morro, en el cual se observan pequeñas escarpas, con saltos, que han dejado el terreno irregular y removido, evidenciando el movimiento existente, comprometiendo pastizales. Está controlado por la presencia de

humedad en el suelo, la pendiente de las laderas y la orientación de las rocas sedimentarias a favor de la pendiente, Vilchez; M. (2008).

5.1.2. Sector Capellanía

Este sector se ubica en la parte alta del anexo Yacmes, ladera sureste del cerro Mauca Chupacra, margen izquierda del río Tumpullo, con coordenadas UTM-WGS84, 8258870 N y 766780 E. Los peligros geológicos identificados en esta zona son: deslizamientos traslacionales y rotacionales, como también derrumbes.

Deslizamiento Traslacional: En el sector se evidencia un deslizamiento antiguo.

Dt4: Este evento presenta hasta tres escarpas antiguas, que corresponden a reactivaciones, que ocurrieron en el pasado. La escarpa principal es de forma irregular discontinua, presenta una corona poco definida con longitud de 300 m. El evento se encuentra entre los 2315 m a los 1965 m, es decir posee un desnivel de 350 m; la distancia del pie del deslizamiento a la corona es 700 m, el salto es difícil de diferenciar por la erosión sufrida en la ladera. El deslizamiento se ve favorecido por la inclinación de las capas de roca sedimentaria a favor de la pendiente, con un buzamiento o inclinación de 32° , (figura 10)

Este deslizamiento, ha sufrido reactivaciones en su cuerpo como deslizamientos traslacionales y rotacionales de menor dimensión, en donde actualmente se vienen produciendo asentamientos del terreno.

Se debe mencionar que, dentro del cuerpo de este deslizamiento, se encuentran más de 13 viviendas. Además, en el cuerpo del deslizamiento se evidencia un importante desarrollo agrícola, (figura 11).



Figura 10. Capas de roca sedimentaria a favor de la pendiente, Vilchez; M. (2008).

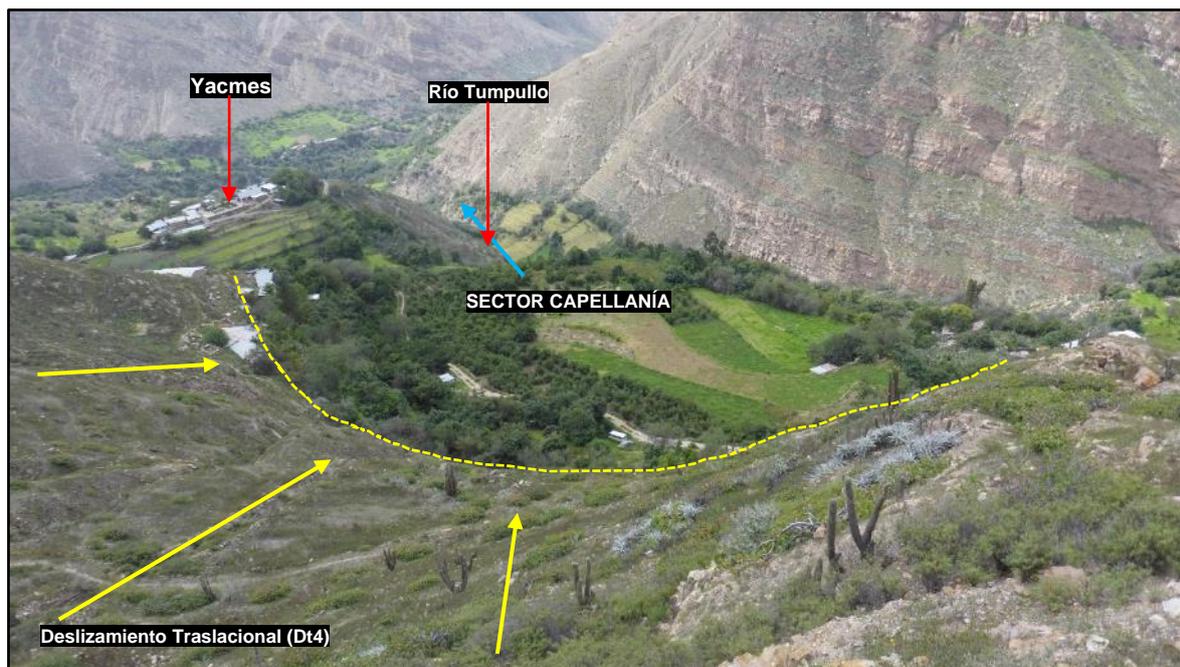


Figura 11. Desarrollo agrícola en el cuerpo de deslizamiento.

Deslizamiento rotacional: Este evento ha sido identificado en el pie del deslizamiento traslacional, presentándose como una reactivación.

Dr2: Se trata de un deslizamiento poco definido, la erosión y la vegetación no dejan ver sus dimensiones. Se evidencia que actualmente viene produciendo asentamientos, tanto de suelo, como roca fracturada, afectando terrenos de cultivo.

Se considera que el deslizamiento de una gran masa de suelo de este sector, puede producir el represamiento del cauce del río Tumpullo, llamado también Tastane, (figura 12).



Figura 12. Deslizamiento rotacional, Vílchez; M. (2008).

Derrumbes

Este tipo de movimientos en masas se presentan como otra manifestación de las reactivaciones sufridas en el cuerpo del deslizamiento anteriormente descrito del sector de Capellanía.

Comprometen tanto la cobertura de suelo, como el substrato rocoso, conformado por la intercalación de areniscas, lutitas y limolitas, que se encuentran muy fracturadas.

La caída de material forma un cono de talud, conformado por una mezcla caótica de bloques, cantos, gravas y finos (arena, limo), el cual desvía el cauce del río Tumpullo, hacia su margen derecha.

También se aprecian pequeñas zonas con procesos de avalanchas de detritos.

La cicatriz de rotura presenta una forma irregular poco definida, con una longitud de 800 m, el evento esta ubicado entre las cotas 2072 m y 1960 m snm; es decir posee un desnivel 110 m. Además, posee un ancho promedio de 350 m. (figura 13).

Este derrumbe produce la pérdida de terrenos de cultivo, así como, podría ocasionar el represamiento de río Tumpullo. Muy cerca de la zona de arranque, se encuentran viviendas, las cuales pueden ser afectadas con el avance retrogresivo del derrumbe.



Figura 13. Derrumbes en la parte baja del sector Capellanía.

5.1.3. Sector el Sauce y Mulliyoc

Ubicado al noroeste del anexo de Yacmes, en la margen izquierda del río Sihuarpo, que aguas abajo cambia de nombre a Tumpullo, en la ladera sureste del cerro Mauca Chupacra.

Deslizamiento traslacional de Yacmes “El Sauce”:

Dentro de este evento se encuentran los sectores de El Sauce y Mulliyoc, en este último se evidencia la concentración de construcciones comunales del anexo de Yacmes, (local comunal, escuela, campo deportivo y algunas viviendas).

Dt5: Se trata de un deslizamiento traslacional, activo, el cual presenta dos escarpas sucesivas, de forma alargada, la corona del deslizamiento posee la forma de “V” invertida, poco definida; el evento posee una longitud de 620 m, la distancia desde la corona hasta el pie del deslizamiento es 800 m; se encuentra comprendido entre las cotas 2309 a 2019 m.s.n.m. es decir presenta un desnivel de 290 m.

La masa movilizada se estima que afectó un área 21 has. Durante los trabajos de campo, en el cuerpo del deslizamiento se identificaron derrumbes al pie del deslizamiento, aparentemente por el empuje de la masa y erosión fluvial del río Sihuarpo, (figuras 14 y 15).

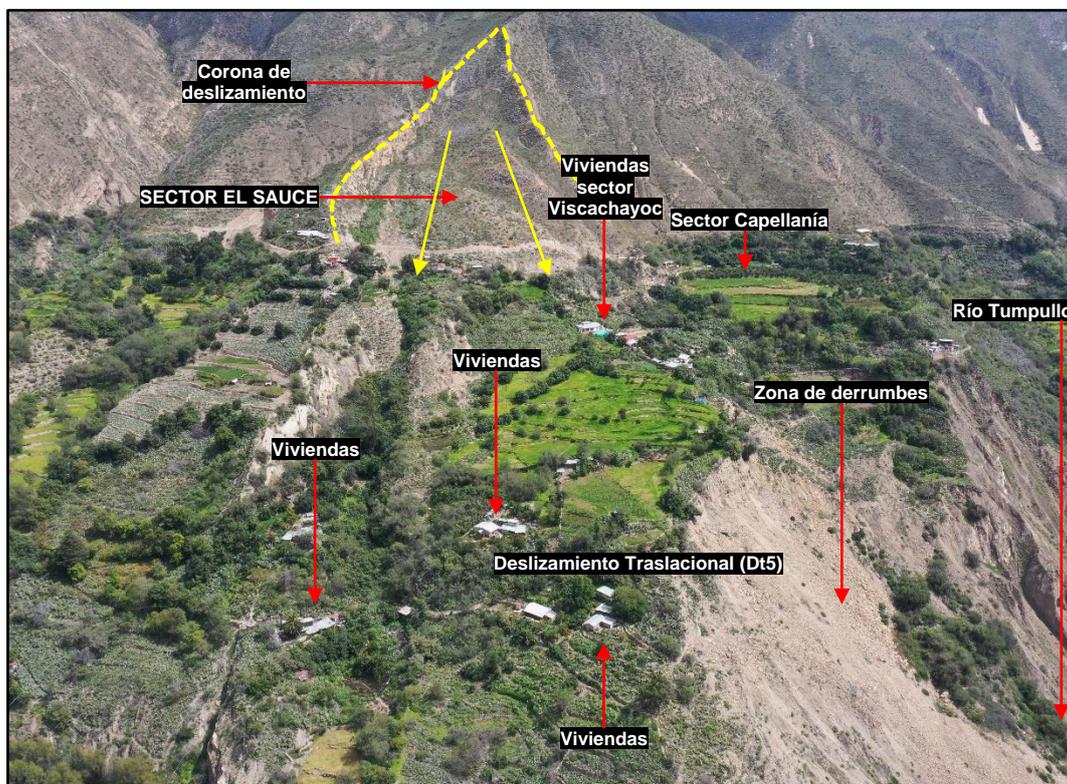


Figura 14. Deslizamiento traslacional de Yacmes “El Sauce”.

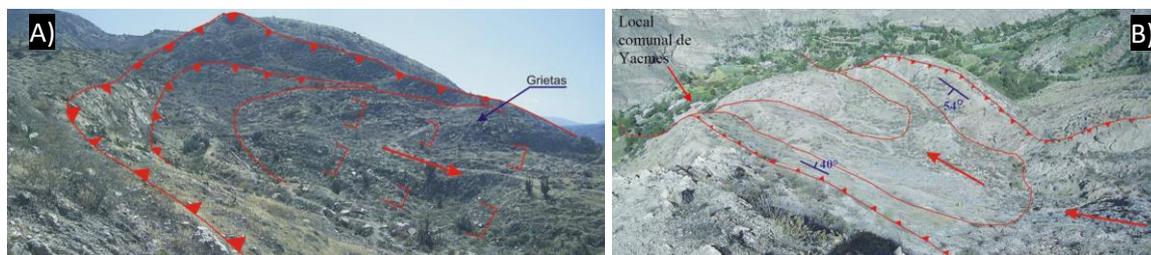


Figura 15. A) Vista de la escarpa del deslizamiento de El Sauce, los saltos, no se distinguen bien las grietas en el cuerpo y la dirección del movimiento (Línea roja). B) Vista ladera abajo del deslizamiento de El Sauce, donde se observa los extremos laterales de la escarpa y la dirección del movimiento de la masa deslizada (línea roja). Vilchez; M. (2008).

La escarpa secundaria presenta un salto de 20 m (figura 16); dentro del cuerpo se observan agrietamientos transversales con longitudes menores a 20 m, con aberturas de hasta 15 cm, (figura 17).

El asentamiento del terreno es evidente en la parte superior del deslizamiento, ubicado por encima del poblado del sector de Mulliyoc y Sauce. El deslizamiento tiene un volumen de 5 578 425 m³. Vilchez; M. (2008).

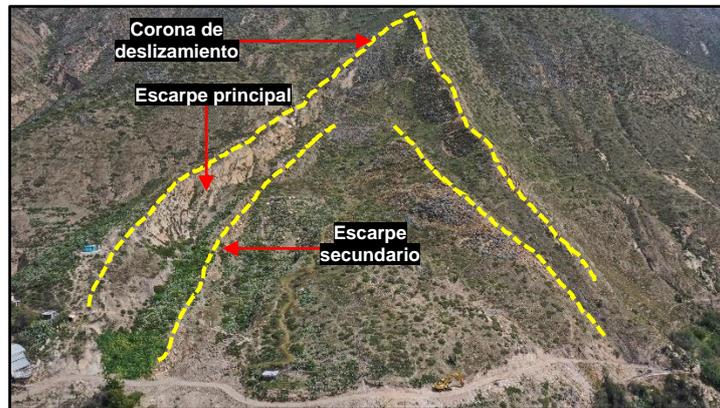


Figura 16. Escarpa secundaria en el deslizamiento Dt5, sector “El Sauce”.

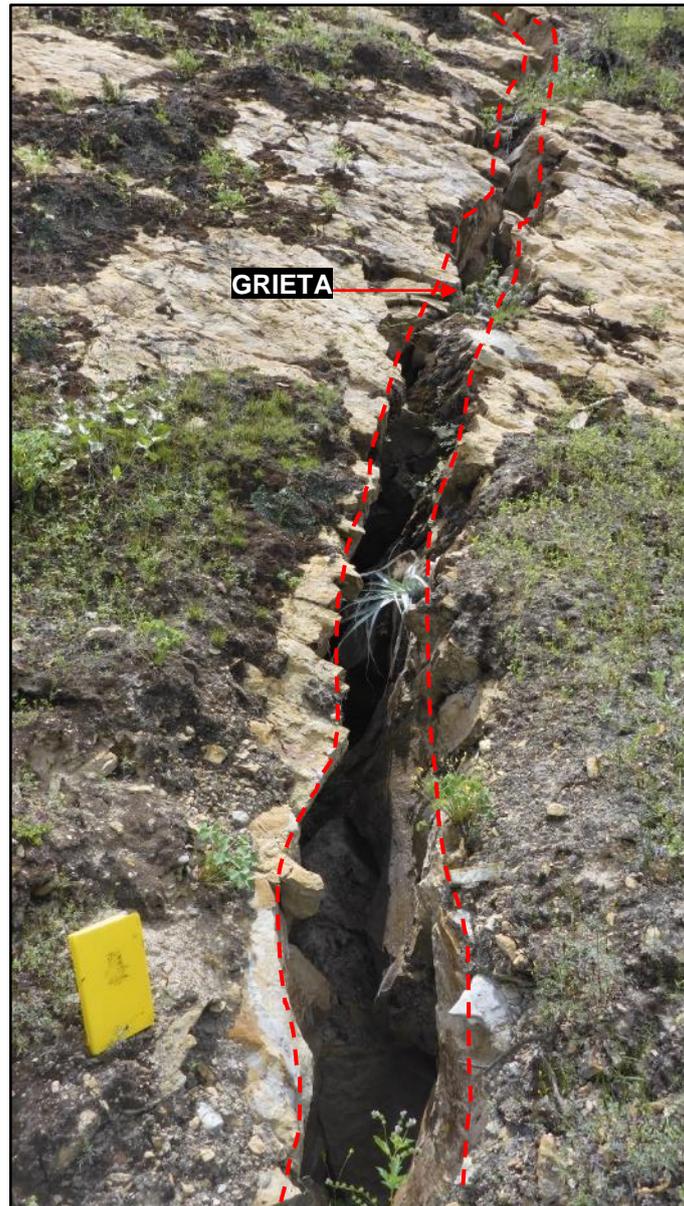


Figura 17. Agrietamientos en el deslizamiento Dt5, sector “El Sauce” parte alta.

En el informe técnico N° A5750 “Peligro geológico en el anexo de Yacmes (distrito de Tipan, provincia de Castilla, región Arequipa)” Vilchez; M. (2008). Se identificó las siguientes familias principales de Juntas (tabla 4):

Tabla 4: Principales familias de juntas.

Dirección de buzamiento	Buzamiento	Tipo
1) 55°	64°	Fractura
2) 75°	46°	Fractura
3) 215°	40°	Fractura
4) 235°	23°	Fractura
5) 130°	32°	Capa sedimentaria del grupo Yura.

Al ser analizadas las condiciones geométricas y cinemáticas en los estereogramas (figura 18), en forma conjunta con la dirección de buzamiento de la ladera de 131° y buzamiento de 33° , podemos interpretar lo siguiente:

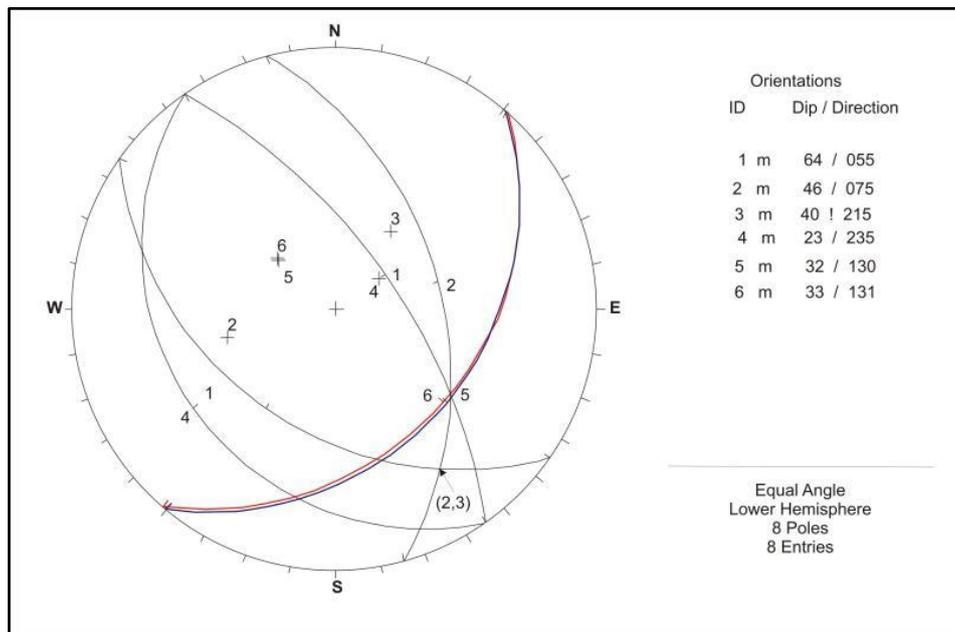


Figura 18. Estereograma donde se muestra la formación de fallas por cuña y planar, entre las principales familias de juntas. Vilchez; M. (2008).

- Se forman tres cuñas entre las familias 1-3, 2-3 y 2-4, de las cuales, la que tiene más probabilidad de producir una caída, es la formada por las familias 2-3, lo que dependerá del ángulo de fricción interna de la masa deslizante.
- La familia 5, forma una falla planar, por estar buzando a favor y en menor ángulo, que la pendiente de la ladera.



El deslizamiento "El Sauce", es de tipo traslacional, con un marcado control estructural, donde la masa deslizada, se mueve por el efecto conjugado de las fallas en cuña y planar, ocasionando asentamientos grandes de terreno, así como la formación de grietas en su extremo derecho (figura 19), las cuales alcanzan 1 m de abertura.

Figura 19. Grieta abierta en extremo derecho del deslizamiento de El Sauce.

Esta inestabilidad en la ladera, se ve favorecida también por la litología del substrato, conformada por secuencias de areniscas, intercaladas con limolitas y lutitas muy fracturadas y deleznable, donde se puede asumir que el plano de falla está pasando por un estrato de limolitas, por ser esta una zona de debilidad (figura 20).

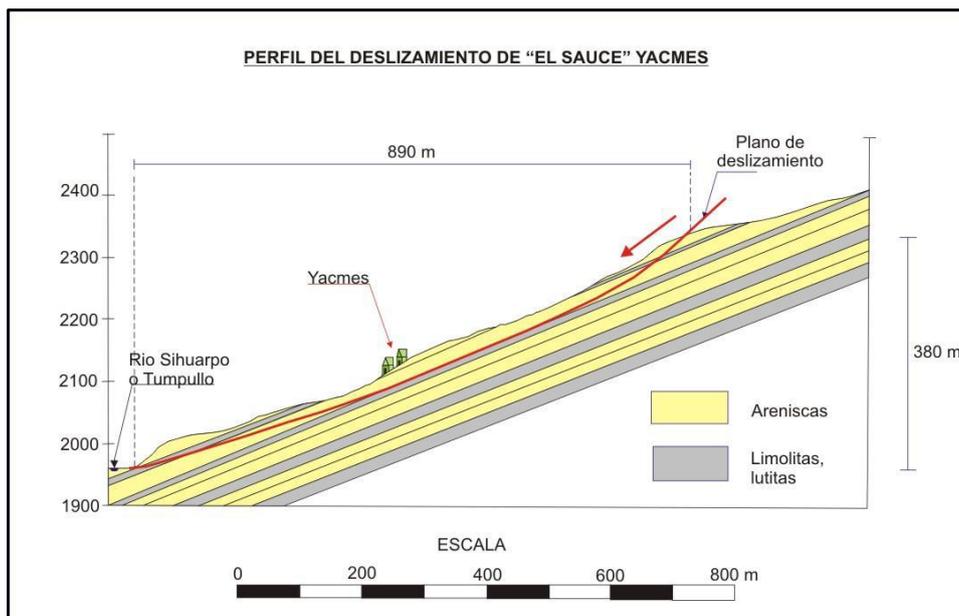


Figura 20. Perfil del deslizamiento de Yacmes "El Sauce", donde se infiere el plano de deslizamiento. Vilchez; M. (2008).



El terreno por encima del sector de Mulliyoc se presenta muy removido. Se evidencian estos movimientos y el empuje de terreno, en los daños sufridos por el canal de principal de Yacmes, el cual se encuentra canalizado con tubos de PVC y concreto, donde los muros de concreto del canal se presentan inclinados hacia afuera (figura 21).

Figura 21. Grieta abierta en extremo derecho del deslizamiento de El Sauce.

Las viviendas y en el local comunal de Yacmes ubicadas dentro de esta zona, presentan grietas de tipo tensional, en paredes y pisos presentan apertura hasta 1 cm. Otras evidencias observadas de la actividad del deslizamiento, es la grieta encontrada por encima de la escarpa principal del deslizamiento, que tiene una longitud de 70 m, con una abertura de 0,10 m, la cual actualmente se encuentra cubierta.

Por otro lado, el derrumbe ocurrido en el talud superior de la carretera de acceso a Yacmes, específicamente en la punta de carretera, se produjo caída de bloques de arenisca con longitud de hasta 1 m; este evento puede haberse producido por efecto de la desestabilización de la ladera con el corte realizado y el empuje de la masa que se desliza.

Deslizamiento antiguo y derrumbes en el Sauce

El deslizamiento El Sauce, presenta escarpa circular alargada, con ancho de 80 m y salto de 8 m, este evento se considera inactivo, donde se pueden producir reactivaciones. Vilchez; M. (2008).

Con base a la observación detenida de imágenes satelitales, este deslizamiento antiguo, es parte de uno de mayor dimensión, que alberga los eventos identificados en el sector Capellanía y Sauce. (figura 22).

Da: Se trata de un deslizamiento traslacional, la corona posee forma de herradura, poco definida, debido a que la zona es afectada por un alto grado de meteorización, posee una longitud de 1.6 km, la distancia desde la corona hasta el pie del deslizamiento es de 850 m. Este evento está comprendido entre las cotas 2324 a 2019 m es decir presenta un desnivel de 305 m, la masa movilizada se estima que afecto un área 60 has.

En el cuerpo del deslizamiento antiguo se desarrollaron las reactivaciones **Dt4**, **Dr2** y **Dt5**. (figura 22). Además, se identificaron derrumbes al pie del deslizamiento, aparentemente por el empuje de los eventos **Dt4** y **Dt5**.

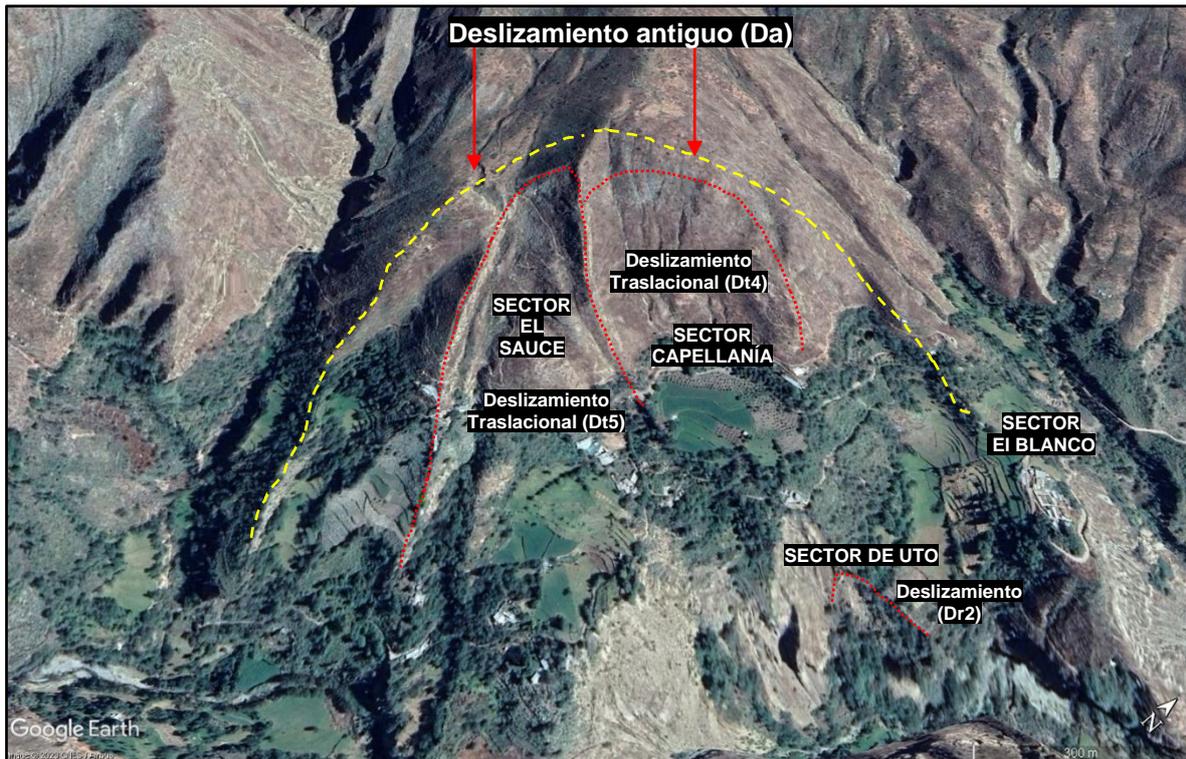


Figura 22. Deslizamiento antiguo (Da), en el anexo de Yacmes.

Derrumbes

Se encuentra ubicados al pie del deslizamiento El Sauce, sector de Uto. Compromete el substrato rocoso fracturado, conformado por la intercalación de areniscas, limolitas y lutitas, del Grupo Yura, (figura 23).

La zona de arranque del derrumbe tiene una longitud 350 m, es de forma irregular-continua, con una altura máxima de 150 m

Se considera activo, por las manifestaciones que se vienen dando desde el año 2000, según testimonio de los pobladores de la zona, año tras año en temporadas de lluvia se acumula material en la base de la ladera, producto de los derrumbes, sin embargo, no se identificaron agrietamientos, debido a la vegetación.

Este evento presenta un avance retrogresivo, porque paulatinamente está afectando los caminos de herradura que cruzaban este sector. El primer derrumbe ocurrió el año 2000 y afectó el primer camino de herradura, el segundo evento se produjo el 19 de agosto del 2007 y afectó el segundo camino de herradura. Estos dos eventos han podido ser identificados en las imágenes satelitales.

Además de la destrucción de caminos de herradura, este evento afectó terrenos de cultivos y viviendas que algunas se encuentran deshabitadas, además tenemos otras asentadas cerca del borde de la zona de arranque del derrumbe.

El primer derrumbe formó un cono de talud, conformado por la mezcla de bloques, gravas, arenas y limos, que desvió el cauce del río Sihuarpó hacia su margen derecha; el segundo evento, con un volumen de material caído de 15 928 m³, produjo un represamiento temporal en el cauce del río Sihuarpó, el cual cubrió y destruyó la bocatoma del canal de riego de Patapedro. Este represamiento de la quebrada, su desembalse violento podría afectar las poblaciones que se encuentran aguas abajo (figura 24).

Estos derrumbes son resultado del empuje ladera abajo que existe en el cuerpo del deslizamiento El Sauce, la presencia de rocas de diferente competencia y su grado de fracturamiento, la existencia de aguas subterráneas y la infiltración de agua al subsuelo desde canales o infraestructura de riego en mal estado que sobresaturan el terreno.



Figura 23. Vista de la zona de derrumbe en la parte baja del sector Sauce.



Figura 24. A) Material del segundo derrumbe, que originó un pequeño represamiento en el cauce del río Sihuarpó. B) Reservorio de agua en mal estado, donde existen fugas de agua que se infiltran en el terreno. Vilchez; M. (2008).

Flujo de detritos (huaycos)

En los trabajos de campo, se observó que las cabeceras de la quebrada Mulliyoc, por encima del deslizamiento de El Sauce, se viene produciendo una profundización y ensanchamiento de la quebrada, por medio de derrumbes en ambas márgenes, estos materiales caídos y sueltos, son acarreados al cauce de la quebrada, lo que contribuye con la generación de huaycos. Este evento podría afectar las viviendas ubicadas en el cauce de la quebrada (figura 25).



Figura 25. Quebrada Mulliyoc, ubicado en la parte alta del deslizamiento Dr5.

5.2. 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 (huaycos), que pueden afectar terrenos de cultivo, tramos del canal principal de Yacmes y a los mismos pobladores, (figura 21).

Así mismo se ha observado que por la quebrada Pucapuca, al existir gran cantidad de material suelto en el cauce, producto de los derrumbes que se producen en ambas márgenes de la quebrada, puede generar huaycos. Los eventos comprometerían el tramo del canal principal de Yacmes que atraviesa la quebrada, pudiéndose incluso, encausarse y discurrir por el cauce del río Sihuarpo.

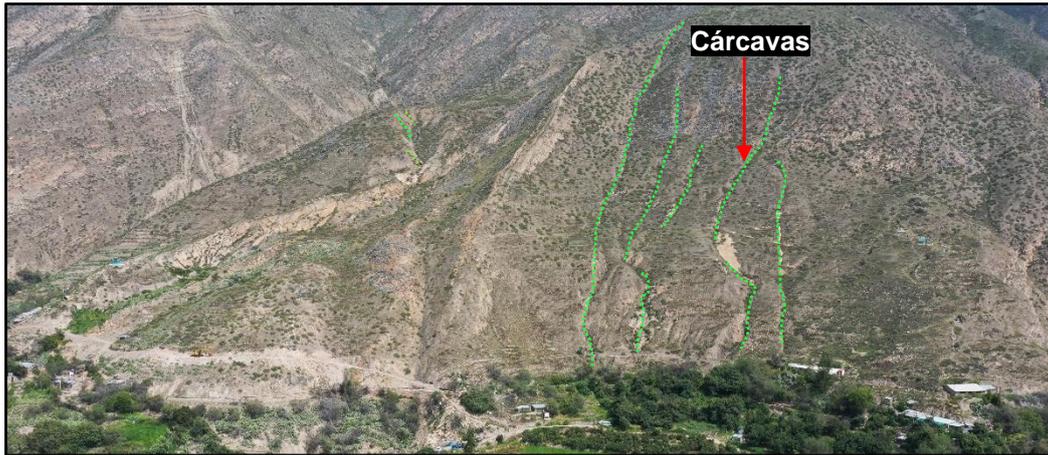


Figura 26. Quebrada Mulliyoc, ubicado en la parte alta del deslizamiento Dr5.

5.3. Factores condicionantes

- Litológicamente el área está condicionada por areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas de la Formación Labra. Esto permite la infiltración y retención del agua, lo que genera material suelto de fácil acarreo.
- La inclinación de las secuencias sedimentarias a favor de la pendiente, favorecen la ocurrencia de movimientos en masa.
- En la parte baja de las laderas afloran tobas poco consolidados, pertenecen a productos del Centro Volcánico Coropuna. Esta unidad es de mala calidad geotécnica, por lo tanto, es de fácil remoción.
- Los depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, poco consolidados, permite la infiltración y retención del agua proveniente de la lluvia. Lo cual conlleva a la saturación y aumento de peso de la masa inestable.
- 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 ($>45^{\circ}$), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo
- La actividad antrópica contribuye a desestabilizar las laderas, los cortes de talud para la construcción de la carretera de acceso a Yacmes, el riego de terrenos de cultivo, presencia de infraestructura de riego en mal estado, lo cual produce filtraciones de agua hacia el subsuelo, sobresaturándolo e incrementando la presión de poros.

5.4. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias; las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento. Según información disponible, en la zona se presentaron precipitaciones de hasta 50 mm. según la estación Machahuay. Fuente: Senamhi. Precipitaciones por encima de 40 mm, pueden generar reactivaciones de los deslizamientos.

- 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.
- Según la ubicación de los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región sur del Perú entre los años 1960 al 2016 (M>4.0), (figura 27). Son de origen directo en el proceso de convergencia de placas, Nazca y Sudamericana. Además, muestran la geometría de la placa de Nazca dentro del proceso de subducción; es decir, subducción del tipo normal, tal como fue descrito por Stauder (1975), Cahill y Isacks (1991), Tavera y Buforn (2001).

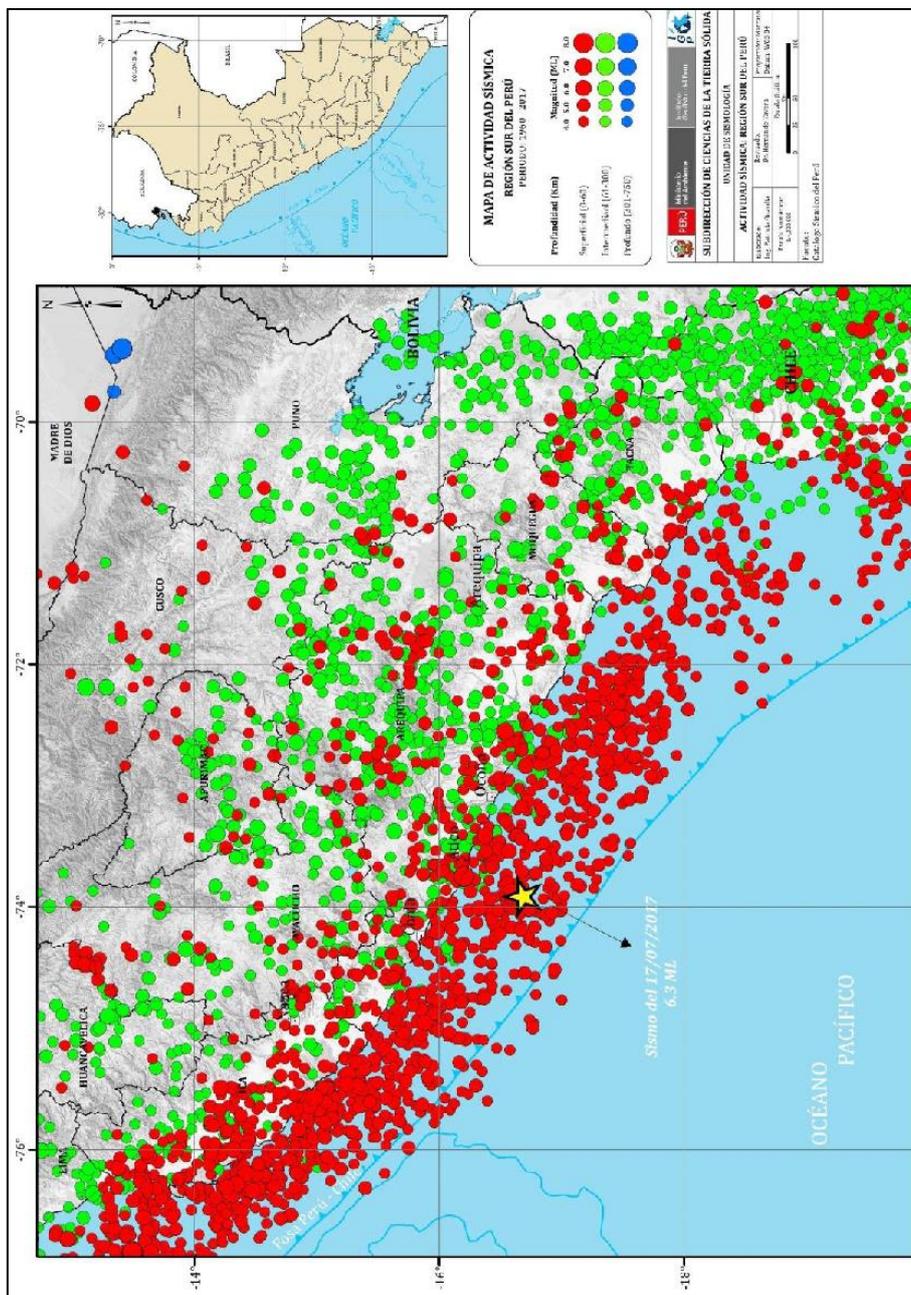


Figura 27. Distribución espacial de la sismicidad en la región sur del Perú. Tavera, H., et al (2017).

6. CONCLUSIONES

1. La susceptibilidad a los movimientos en masa en la zona es alta y está condicionada por la existencia en el substrato de rocas de diferente competencia, el grado de fracturamiento y meteorización, el buzamiento o inclinación de las secuencias sedimentarias a favor de la pendiente, la pendiente natural de la ladera, la escasa cobertura vegetal, presencia de agua subterránea y las precipitaciones pluviales.
2. Litológicamente en el área afloran areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas de la Formación Labra. Por lo cual se forman depósitos conformados por bloques heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, de formas angulosas; así como gravas, arenas y limos; que son de fácil remoción.
3. En la parte baja de las laderas afloran tobas poco consolidados, pertenecen a productos del Centro Volcánico Coropuna. Por no estar litificados, permite la infiltración y retención del agua, saturándolos, por lo cual son de fácil remoción. Además, se tienen depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, no consolidados. Por lo tanto, son fácilmente erosionados.
4. Geomorfológicamente el sector evaluado se ubica sobre, montaña en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente glacio-fluvial. La zona urbana del anexo Yacmes está ubicado sobre esta última unidad geomorfológica. Las laderas presentan pendientes fuertes (15°- 25°) a muy fuertes (25°- 45°), lo que permite que el material inestable de la ladera se desplace cuesta abajo.
5. Los peligros geológicos por movimientos en masa en el anexo de Yacmes, se han descrito por sectores.
 - a. En los sectores El Morro y El Blanco, se identificó deslizamientos de tipo rotacional y traslacional, derrumbes, procesos de reptación y flujos de detritos. Los deslizamientos son considerados como eventos antiguos-reactivados, donde se pueden seguir produciendo asentamientos de terreno.
 - b. En el sector Capellanía, se apreció deslizamientos de tipo traslacional antiguo, con reactivaciones en su cuerpo, a manera de deslizamientos rotacionales y derrumbes, que vienen produciendo actualmente el asentamiento de terreno. Además, se observaron proceso de erosión de ladera en (cárcavas). Esto se debe a que el terreno se encuentra saturado, lo cual conlleva a la pérdida de la cohesión.
 - c. En los sectores El Sauce y Mulliyoc, se identificó el evento más importante y el de mayor actividad, se trata de un deslizamiento traslacional, controlado por el tipo de roca, la estratificación de las rocas sedimentarias y la familia de fracturas principales. Lo que permite inestabilidad del terreno. El empuje de la masa deslizada ha producido derrumbes en el pie, en el sector Uto, ha generado represamientos.
6. En las quebradas Pucapuca, Mulliyoc y La Florida, se pueden generar flujo de detritos (huaicos), que pueden comprometer la seguridad física de los tramos del canal principal de Yacmes que los atraviesa, así como a los pobladores.
7. En la quebrada Tambor, ubicada en las nacientes del río Sihuarpó, se generan flujos de detritos (huaicos), que pueden alcanzar y discurrir por el cauce principal del río.

8. La actividad antrópica ha contribuido a desestabilizar las laderas, los cortes de talud para la construcción de la carretera de acceso a Yacmes, presencia de infraestructura de riego en mal estado, que produce filtraciones de agua hacia el subsuelo, sobresaturándolo e incrementando la presión de poros, llenado de agua las fracturas, generando fuerzas de empuje en la roca, y por último la ocupación inadecuada de zonas no aptas para vivir.
9. Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, los sectores El Sauce, Mulliyoc, Uto y sectores que encuentran dentro del cuerpo del deslizamiento Yacmes, se considera de **Peligro Muy Alto y Zona Crítica**. Mientras que, los sectores Capellánía, El Morro y El Blanco, son consideradas de **Peligro Moderado**, propensos a la reactivación de los deslizamientos antiguos, los derrumbes activos y la generación de flujos de detritos.
10. Existe la posibilidad de un represamiento del río Sihuarpó llamado también Tastane, a causa del avance del deslizamiento de El Sauce, en donde la masa deslizada puede formar un dique natural
11. En el pie deslizamiento en el sector Uto, está en proceso de reactivación a manera de derrumbes, que puede generar represamiento sobre río Sihuarpó llamado también Tastane, esto en base de la cantidad de lluvia. El desembalse, dependerá de la resistencia del dique natural formado. De ser violento afectaría a terrenos de cultivo y viviendas ubicadas aguas abajo

7. RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de monitoreo instrumental (GPS - diferencial) en el deslizamiento El Sauce en Yacmes, que permita determinar movimiento de la masa deslizante. Se debe construir puntos de control en la superficie, las cuales deben estar colocadas tanto dentro del deslizamiento, como en una zona estable. Con la tecnología actual se puede realizar un monitoreo en tiempo Real. “Este trabajo se puede realizar con el acompañamiento del INGEMMET”.
2. Los pobladores del anexo Yacmes, deben organizarse y poner en práctica un sistema de alerta temprano (SAT), que permita informar rápidamente a los pobladores ubicados aguas abajo del deslizamiento, en caso de producirse un evento de gran magnitud. Este SAT, puede estar constituido por radios de comunicación, campanas, silbatos, etc.
3. Revisar y mantener en buen estado el canal principal de Yacmes, en el tramo que pasa por el deslizamiento por medio de tubos, procurando corregir y reparar fugas. De igual modo realizar el mantenimiento constante del reservorio de agua, ubicado dentro del cuerpo del deslizamiento, y así evitar fugas e infiltración de agua en el terreno.
4. Evitar o en todo caso reducir al mínimo el riego de los terrenos ubicados dentro de la zona afectada por el deslizamiento.
5. Prohibir la construcción de nuevas viviendas dentro de la zona afectada por el deslizamiento. Considerar la reubicación de las viviendas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento Yacmes. La zona de acogida no debe presentar perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.
6. Sellar y/o rellenar la grieta abierta localizada en la ladera superior, por encima de la corona del deslizamiento, así como de las grietas laterales, por considerárselas un peligro constante, tanto para pobladores, como para animales que transitan por la zona.
7. No continuar con la desestabilización de los terrenos, específicamente el que resulta de la realización de cortes en las laderas, para la construcción de carreteras.
8. Realizar trabajos de reforestación con especies nativas de la zona, en la ladera ubicada por encima del deslizamiento de Yacmes, en el sector Sauce.
9. Limpiar el cauce del río Sihuarpo o Tumpullo, actualmente obstruido por el material caído desde los derrumbes del sector de Uto, que permita el libre discurrir del flujo del agua y evitar así la formación de embalses.
10. Complementar estos estudios con las evaluaciones de riesgos (EVAR). Cuyos estudios deben ser ejecutados por un evaluador de riesgos acreditado.


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>
- Quispesivana, P. (2001). Mapa geológico del cuadrángulo Chuquibamba (32-q). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET.
- Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°64, 370 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (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.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2008). Peligros geológicos en el anexo Yacmes. Distrito Tipán, Provincia Castilla, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A5750, 37p.
- Valdivia, M. (2017). Explotación del oro y caracterización microscópica del mineral para su recuperación óptima sostenible en la pequeña minería y artesanal del sur del Perú. Tesis para optar el título académico de magister en ciencias de la tierra – Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa
- 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 analisys 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.

GOBIERNO REGIONAL AREQUIPA; PGRD – COPASA & COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA (2003) Análisis integral de riesgos de desastres naturales en el distrito de Tipan (Anexos de Chupacra, Tagre y Yacmes). Proyecto: "Gestión de riesgo de desastres naturales con enfoque de seguridad alimentaria". Arequipa: Perú.

McCALPIN, J. (1984) Preliminary age classification of landslides for inventory mapping. in Proceeding 21 Annual Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering. Pochtelo, Idaho.

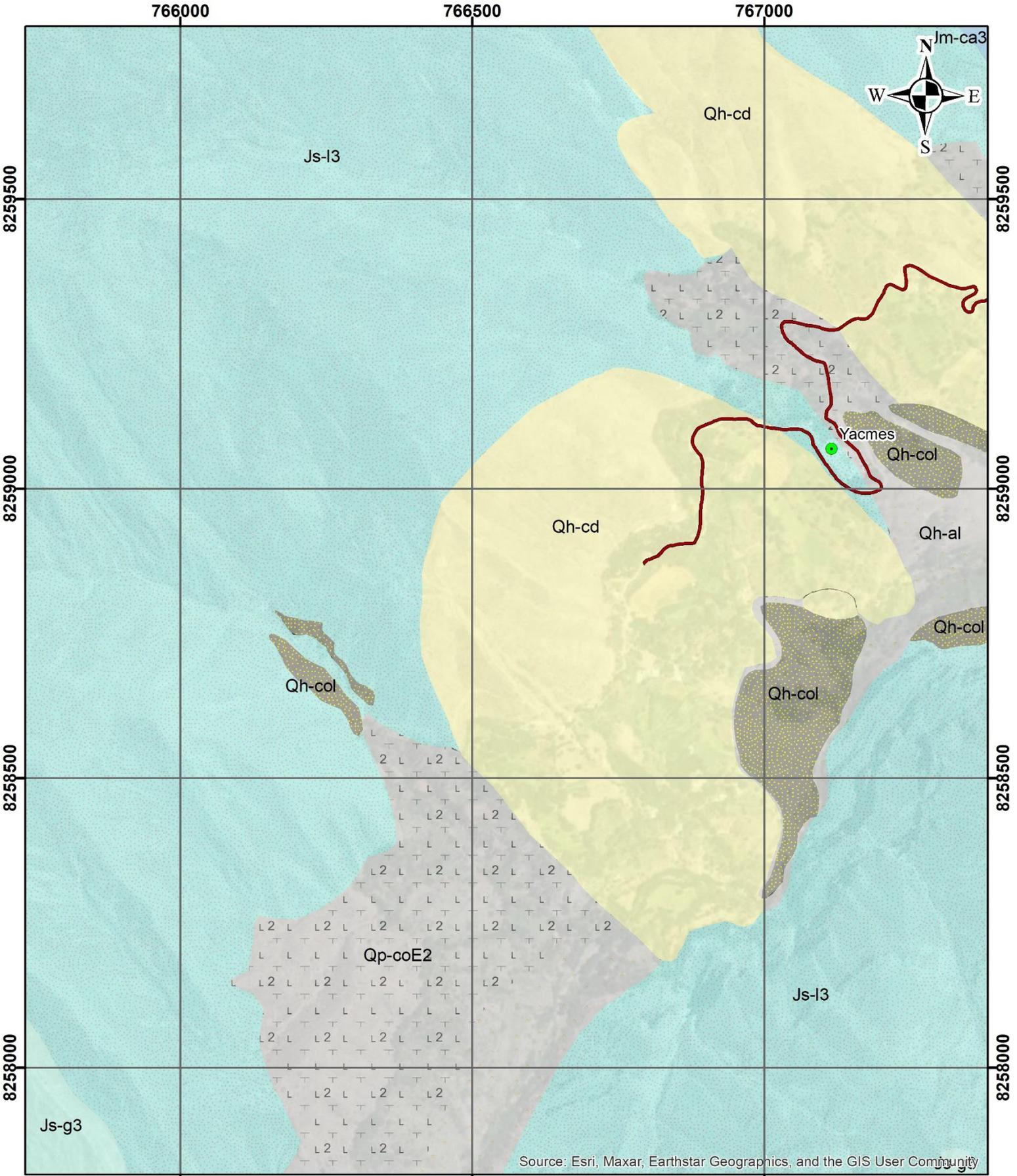
PATIÑO, J. (2007) Informe de inspección zona de deslizamiento de Yacmes-Tipan. Informe.

SANTACANA, N. (2001) Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfico. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Tesis Doctoral Universidad Politecnica de Cataluña. Barcelona.

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 Yacmes: Tomado y modificado de Quispesivana, P. (2001). y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET.
- **Mapa N°2.** Muestra el mapa geomorfológico del anexo de Yacmes: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°3.** Muestra el mapa de pendientes del anexo de Yacmes.
- **Mapa N°8.** Muestra el mapa de cartografía de peligros geológicos del Anexo Yacmes.



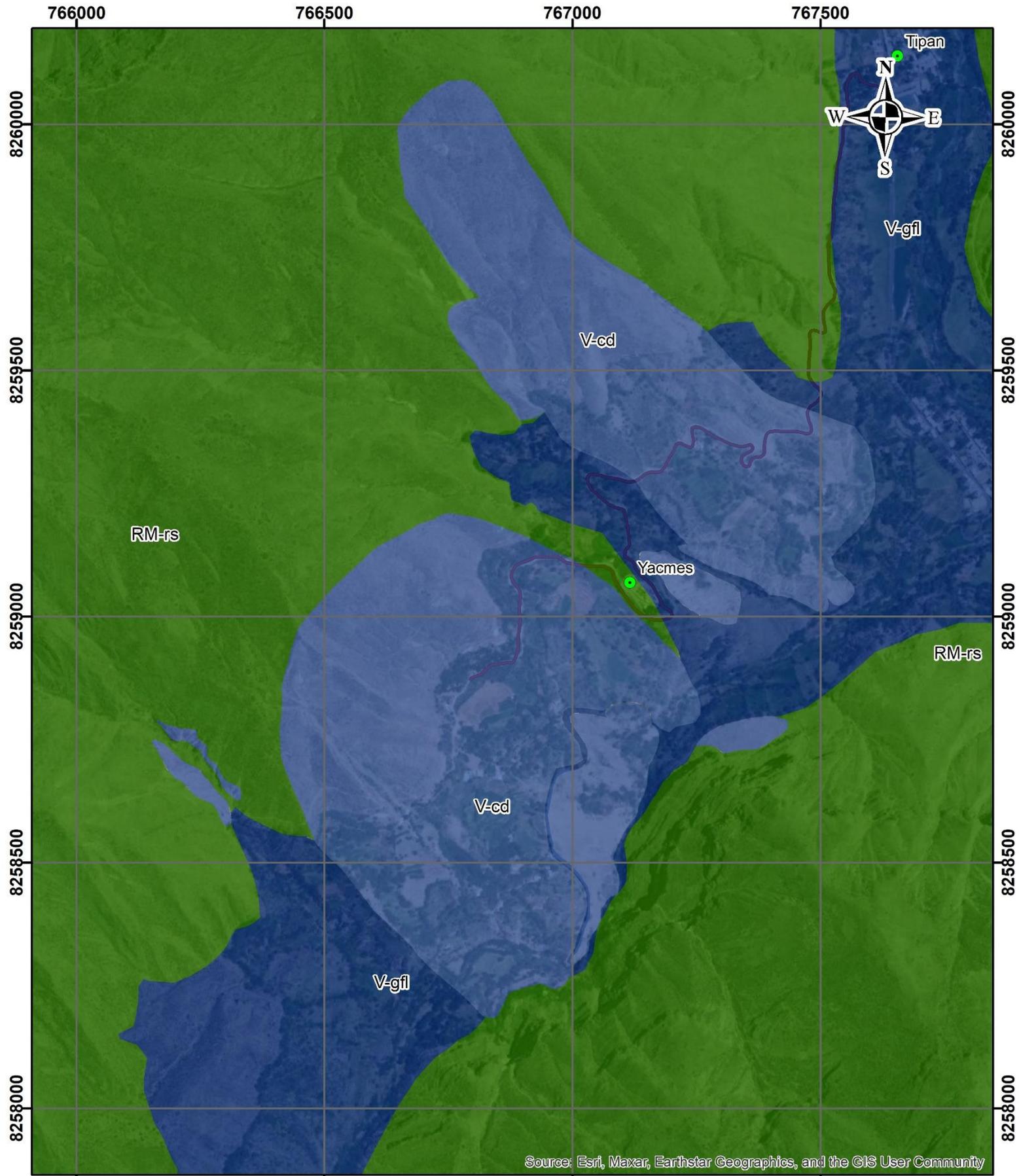
Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

GEOLOGÍA DEL ANEXO YACMES

Proyección UTM	Escala 1:8,500	Mapa N° 1
Datum WGS 84	0 50 100 200	
Zona 18S	m	

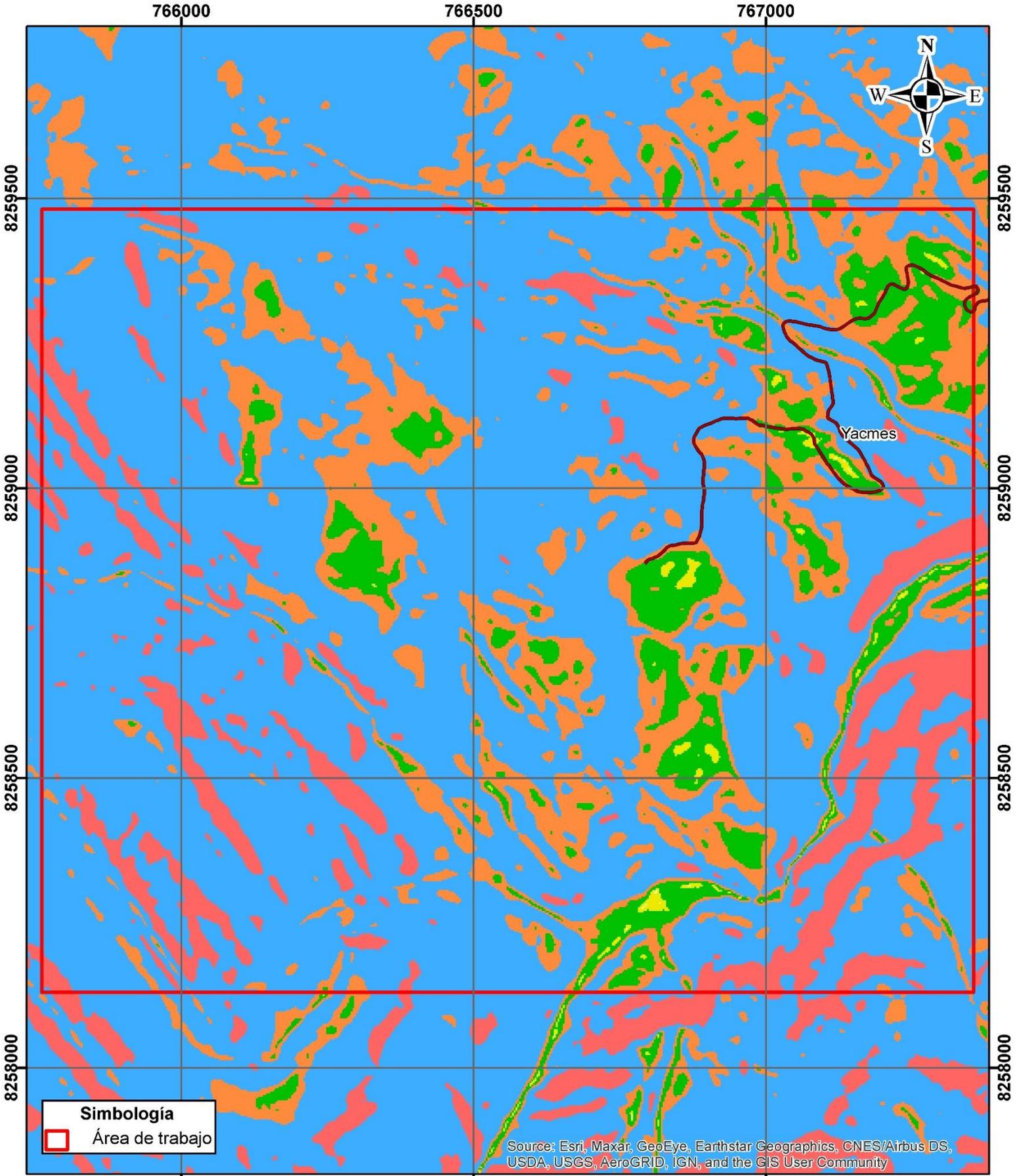
Unidades litoestratigráficas	
	Qh-col Depósito coluvial
	Qh-al Depósito aluvial
	Qh-cd Depósito coluvio deluvial
	Qp-coE2 Depósitos del centro Volcánico Coropuna
	Js-I3 Formación Labra



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

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>GEOMORFOLOGÍA DEL ANEXO YACMES</p>		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:10,000 0 75 150 300 m	Mapa N° 2

Unidades geomorfológicas	
V-gfl	Vertiente glacio-fluvial
RM-rs	Montaña en roca sedimentaria
V-cd	Vertiente o piedemonte coluvio - deluvial

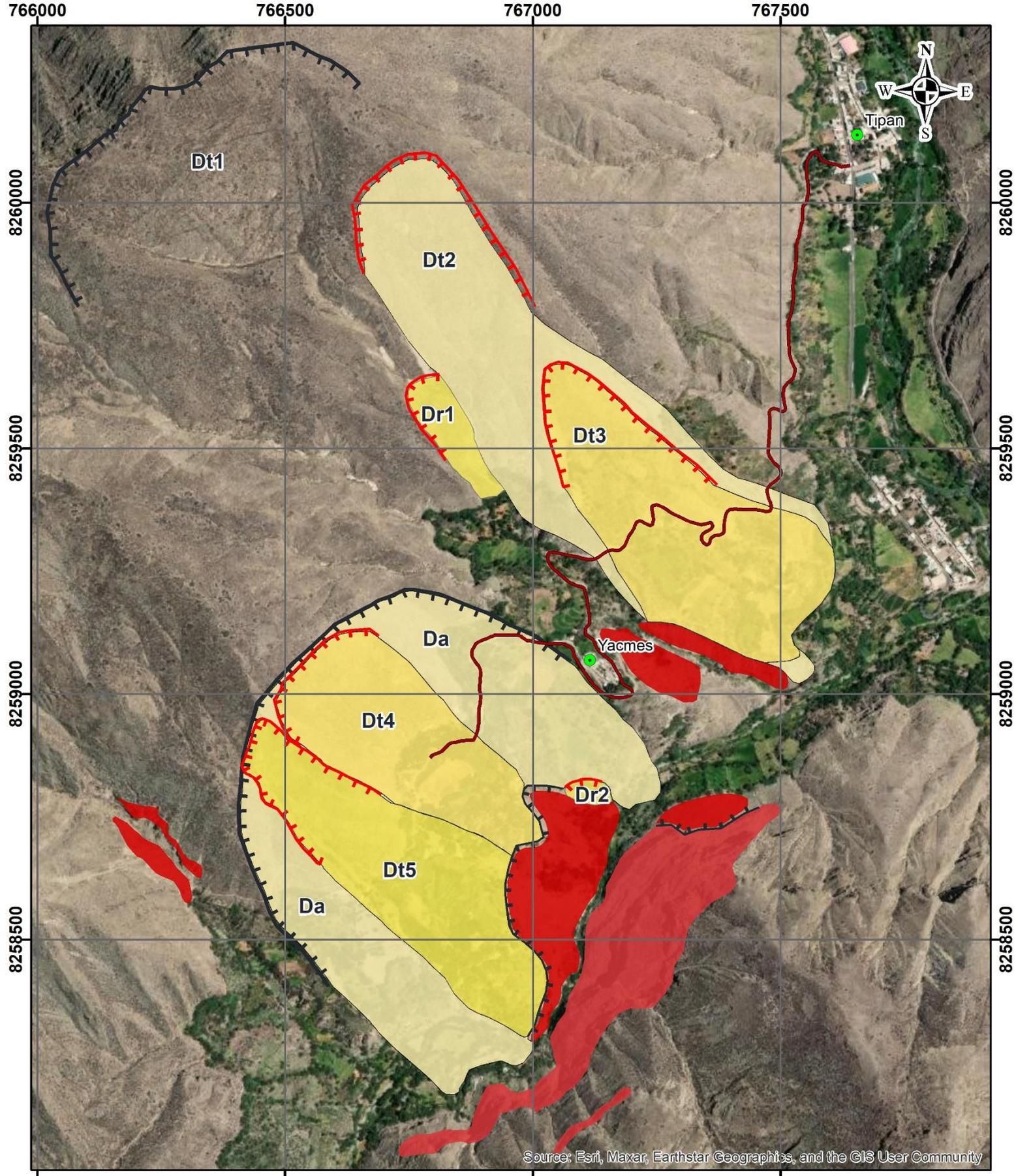


Simbología
 □ Área de trabajo

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

 SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO		
Pendientes del terreno en el anexo de Yacmes		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:8,500 0 50 100 200  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



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

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**Cartografía de peligros geológicos
 anexo Yacmes**

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:10,000 0 75 150 300 m	Mapa N° 4
--	-----------------------------------	-----------

Peligros geológicos

- Deslizamiento traslacional - activo (Dt5)
- Deslizamiento traslacional - suspendido (Dt3 y Dt4)
- Deslizamiento traslacional - relicto - antiguo (Dt1, Dt2 y Da)
- Deslizamiento rotacional (Dr1 y Dr2)
- Derrumbes
- Caída de rocas
- Corona de deslizamiento / Cicatriz de rotura

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 28).

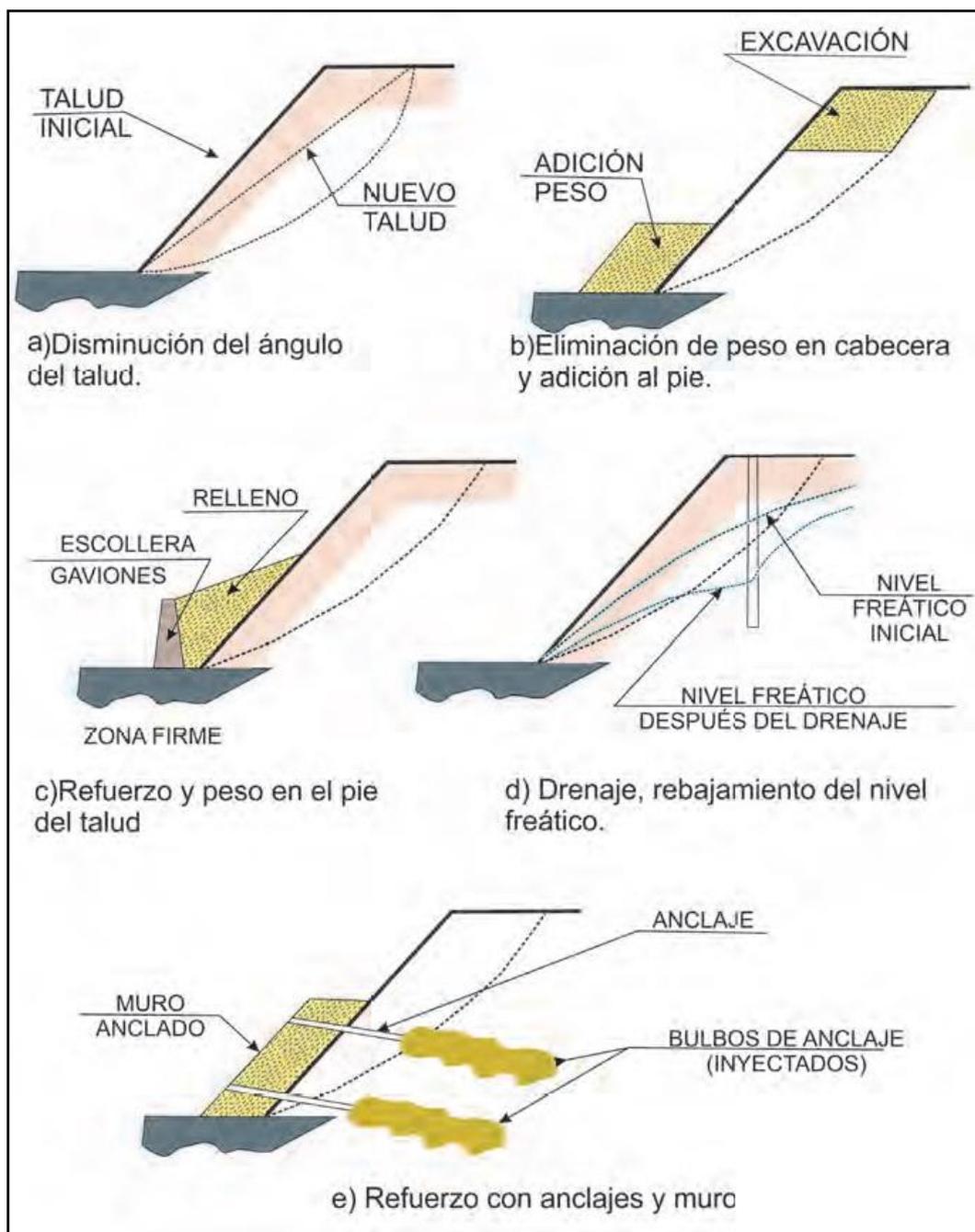


Figura 28. Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes, (Vilchez, 2021)

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

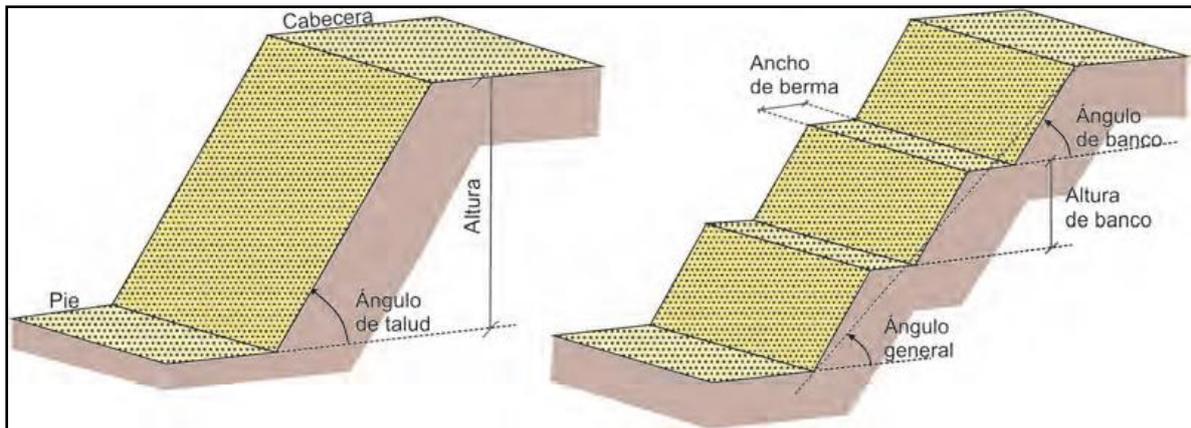


Figura 29. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

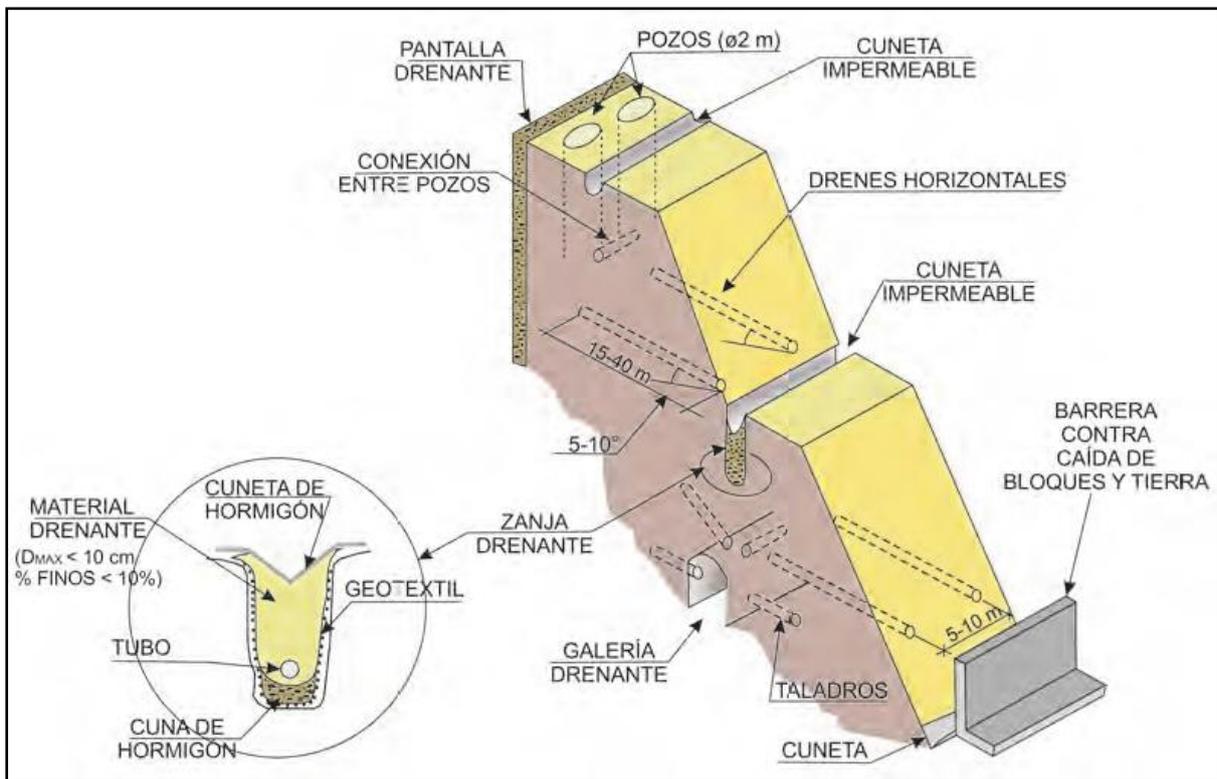


Figura 30. Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilchez, 2021)

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 31). Otro sistema es el uso de muros, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 32). 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 33); 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 34).

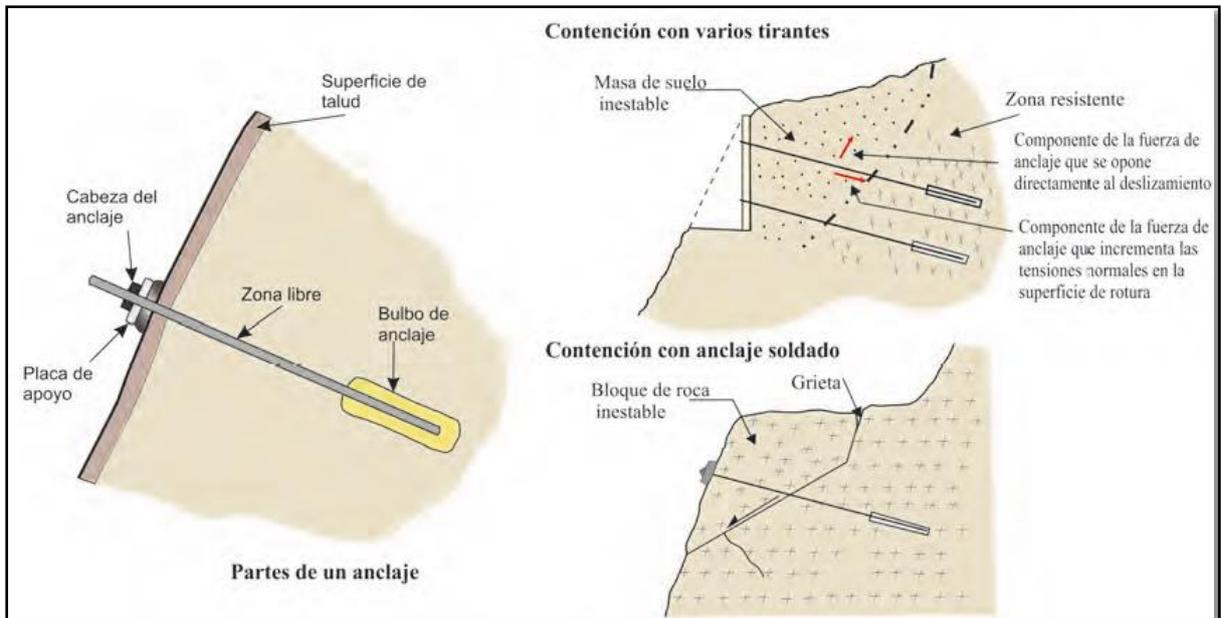


Figura 31. Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

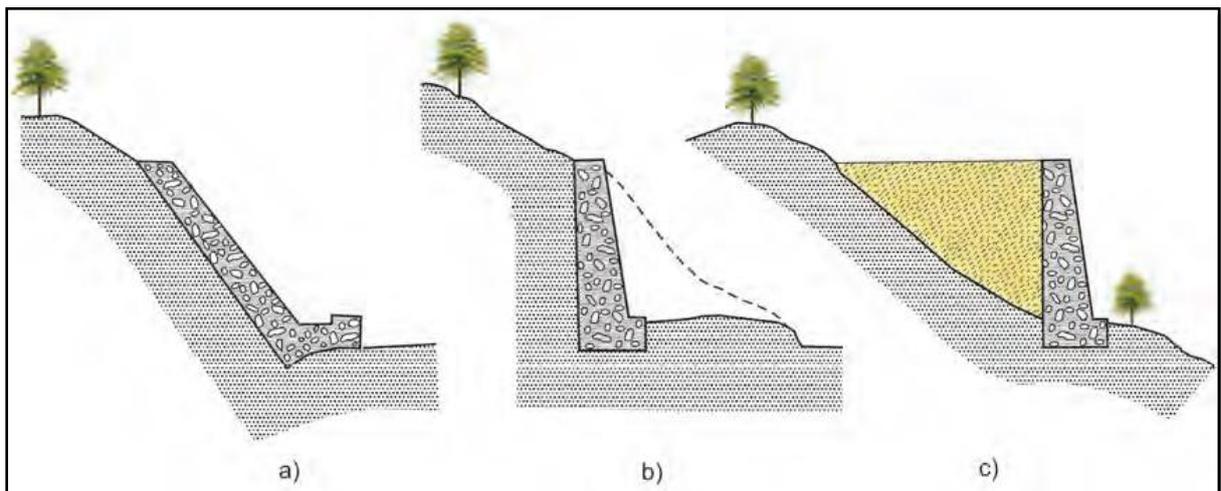


Figura 32. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

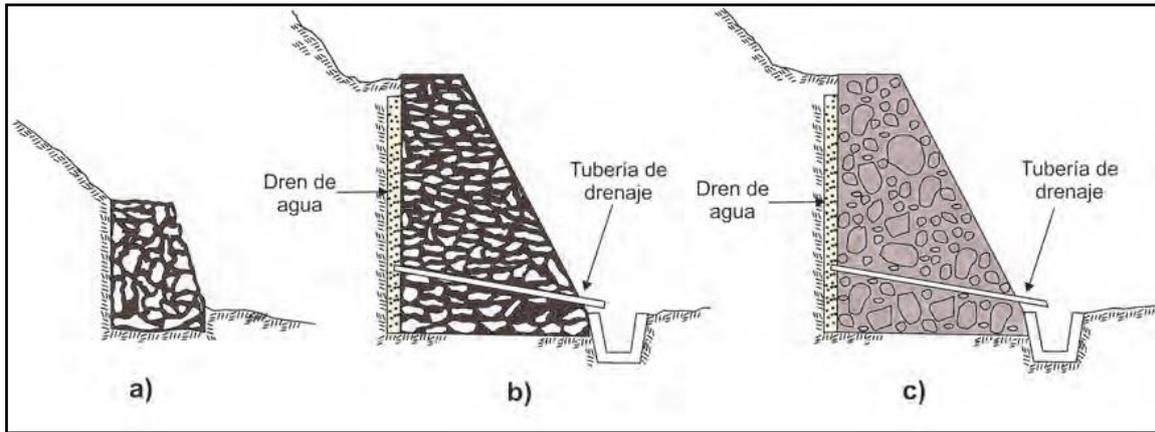


Figura 33. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

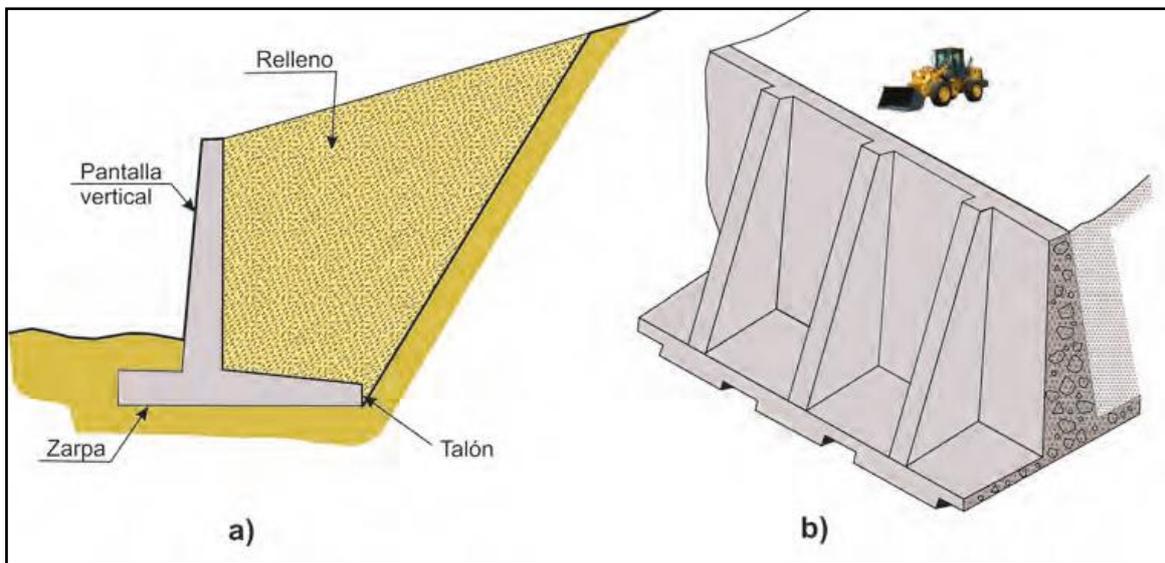


Figura 34. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

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 35).

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 36).

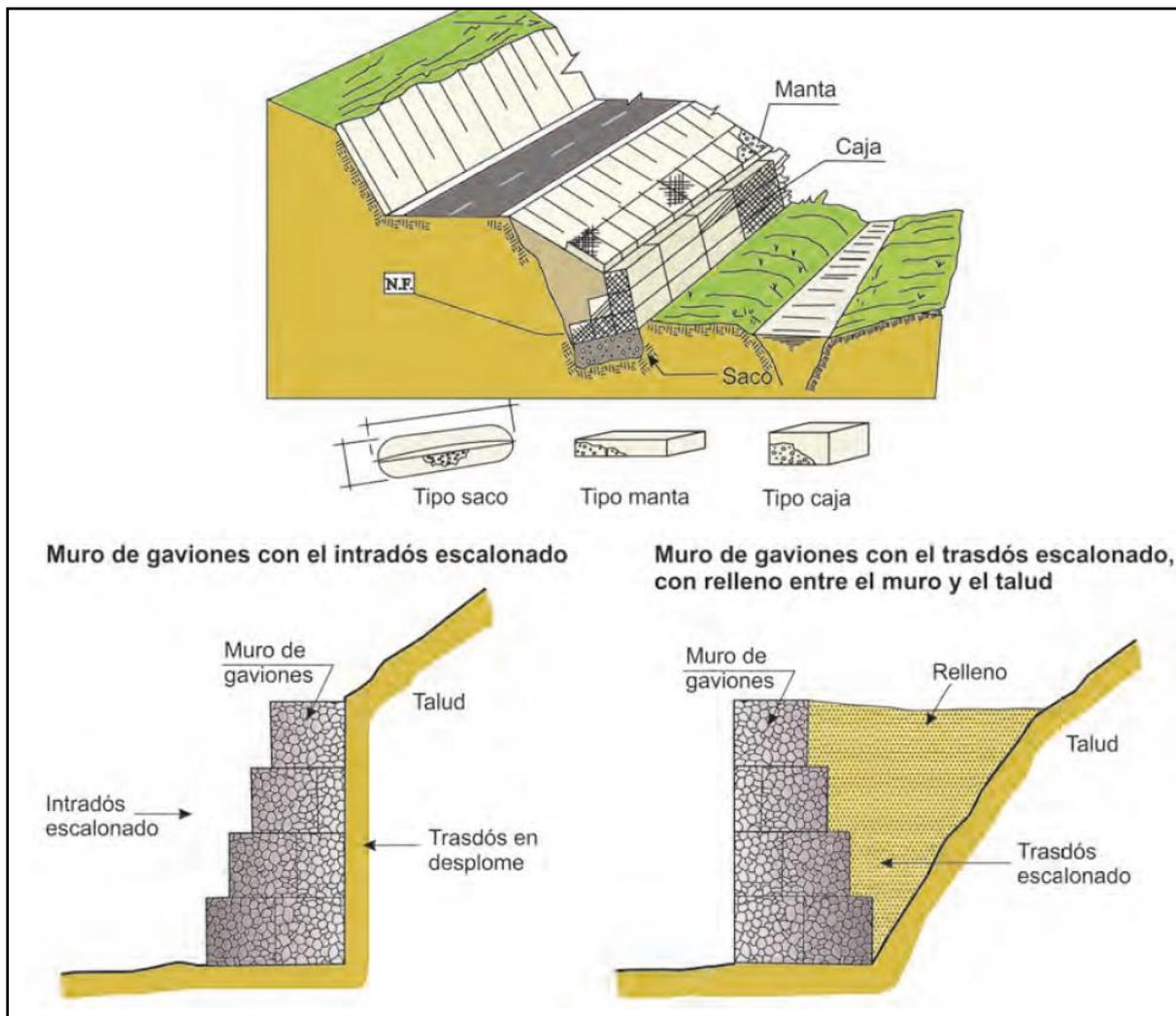


Figura 35. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

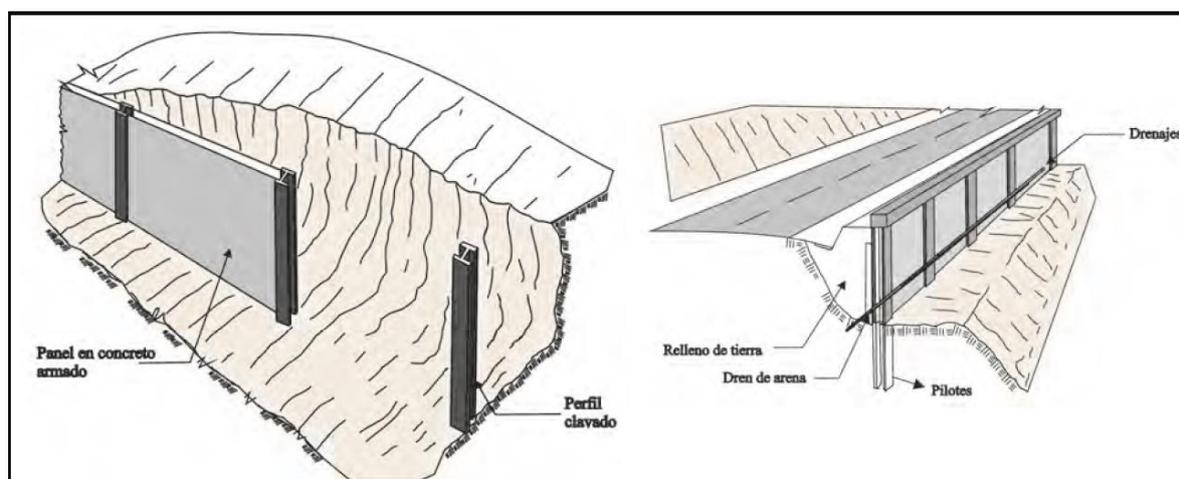


Figura 36. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilchez, 2021)

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 37).



Figura 37. 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 38)

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 39).



Figura 38. Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilchez, 2021)



Figura 39. 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 40 y 41).

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



Figura 41. Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).