

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

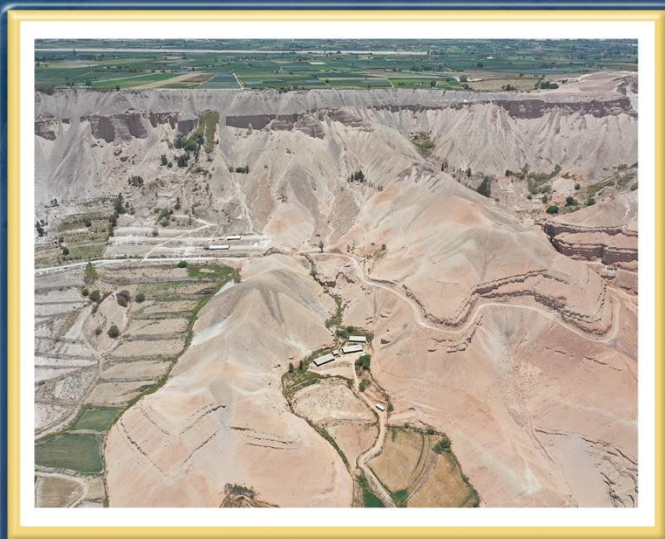
**Informe Técnico N° A7565**

# EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR AVALANCHA DE DETRITOS EN EL SECTOR SOCABON

Departamento: Arequipa

Provincia: Arequipa

Distrito: Vitor



DICIEMBRE  
2024



## **EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR AVALANCHA DE DETRITOS EN EL SECTOR SOCABON**

Distrito Vitor, Provincia Arequipa, Departamento Arequipa



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

*Equipo técnico:*

*Yhon Soncco Calsina*

### **Referencia bibliográfica**

*Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). "Evaluación de peligro geológico por avalancha de detritos en el sector Socabon. Distrito Vitor, Provincia Arequipa, Departamento Arequipa": INGEMMET, Informe Técnico N° A7565, 35p*

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>1.1. Objetivos del estudio</b> .....	5
<b>1.2. Antecedentes y trabajos anteriores</b> .....	5
<b>1.3. Aspectos generales</b> .....	6
1.3.1. <b>Ubicación</b> .....	6
1.3.2. <b>Accesibilidad</b> .....	7
1.3.3. <b>Clima y Precipitación pluvial</b> .....	7
1.3.4. <b>Población</b> .....	8
<b>2. DEFINICIONES</b> .....	9
<b>3. ASPECTOS GEOLÓGICOS</b> .....	14
<b>3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS</b> .....	14
<b>4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS</b> .....	16
<b>4.1 Pendiente del terreno</b> .....	16
<b>4.2 Unidades geomorfológicas</b> .....	16
<b>5. PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	17
<b>5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa</b> .....	18
<b>5.2. Factores condicionantes</b> .....	20
<b>5.3. Factores desencadenantes</b> .....	20
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	22
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	23
<b>ANEXO 1: MAPAS</b> .....	25
<b>ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS</b> .....	29

## RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por avalancha de detritos en el sector Socabon del Distrito Vitor, Provincia y Departamento de 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 sector Socabon se han identificado rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas conformadas por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcósicas con venillas de yeso y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas, correspondientes a la Formación Sotillo. También areniscas arcillosas, areniscas tobáceas y conglomerados no consolidados de la Formación Moquegua Inferior; conglomerados, con intercalaciones de niveles tobas de la Formación Moquegua superior. Además, se tienen depósitos coluviales, proluviales y aluviales no consolidados.

En inmediaciones del sector Socabon las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°-15°) a fuerte (15°- 25°). También, se aprecian zonas de media laderas con pendientes muy fuertes (25°- 45°). En la parte alta se aprecian laderas de pendientes muy escapadas (>45°), donde se generan caída de rocas. Además, se observa colina y lomada en roca sedimentaria; colina y lomada disectada en roca sedimentaria, como también una terraza aluvial.

Los factores condicionantes de los peligros geológicos son: presencia de rocas poco consolidadas de conglomerados en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas que se encuentran altamente meteorizadas. El conglomerado, por estar conformado por una matriz areno-limosa, es susceptible a la erosión. Esto puede causar que los fragmentos de roca se desprendan y se desplacen cuesta abajo. También se tienen afloramientos de lutitas intercaladas con capas de yesos, que se encuentran altamente meteorizadas y medianamente fracturadas. El yeso, al contacto con el agua se llega a aumentar de volumen, por lo cual la roca pierde cohesión, lo que conlleva LA INESTABILIDAD de la ladera, esto ocasiona que las rocas se agrieten y se debiliten. Geomorfológicamente el sector presenta colinas y laderas con pendientes variables, desde muy fuertes (25°-45°) a muy escarpadas (>45°).

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que el sector Socabon es considerado de PELIGRO MEDIO, en sector pueden ocurrir avalancha de detritos.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, para atenuar el avance del movimiento en masa, como sustituir los canales de aguas por tuberías flexibles.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el “Servicio de asistencia técnica en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT16)”, 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 el Oficio N° 63-2023-JAHCH-MDV; emitido por municipalidad distrital de Vitor. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector Socabon, del distrito de Vitor, provincia y departamento de Arequipa.

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 al sector Socabon.

La evaluación técnica se realizó en tres etapas: a) Gabinete I-Pre-campo, recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del Ingemmet; b) Campo, se realizó la observación de procesos de movimientos en masa, tomando datos y evidencias que contribuyan a su evaluación (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado geodinámico, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y c) Gabinete II, 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 las Municipalidad Distrital Vitor 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) Evaluar y caracterizar el peligro geológico que se presentan en el sector Socabon; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, vías de comunicación y canales de riego.
- 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) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2016). Informe Técnico N° A6722: “Evaluación geológica y geodinámica de deslizamientos en el flanco izquierdo del Valle de Vitor, sectores Pie de la Cuesta, Telaya, Gonzales y Socabon” (Distrito Vitor, Provincia y Departamento Arequipa). Menciona que los sectores estudiados presentan conos aluviales de detritos como producto de desprendimiento de detritos en el límite del corte de valle, que son cubiertas por la abundante vegetación de la zona, la exposición de la zona a la recarga

hídrica podría generar un plano de ruptura que provocaría la ocurrencia de movimientos en masa que afectaría el poblado de Gonzales y parte de las áreas de cultivo del sector Socabon.

- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2018). Informe Técnico N° A6813: “Geodinámica, monitoreo geodésico y prospección geofísica del deslizamiento de Pie de la Cuesta” (Distrito Vitor, Provincia y Departamento Arequipa. Se identificó un deslizamiento activo, denominado deslizamiento Pie de Cuesta, el cual muestra una tasa de desplazamiento horizontal de hasta ~37 m en el primer semestre de monitoreo (10/11/2017 al 13/05/2018), localizándose como zona de mayor actividad la parte media y baja del deslizamiento. Catalogándolo deslizamiento activo. Este sector se ubica aproximadamente 4 km aguas abajo del sector Socabon.
- c) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Informe Técnico A7433, Evaluación de peligros geológicos en el sector Villa San Luis, (Distrito Vitor, provincia y departamento Arequipa), menciona procesos de movimientos en masa como avalancha de detritos y derrumbes. El sector se ubica aproximadamente 6 km aguas abajo del sector Socabon.
- d) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 24, Serie A, Hojas 33-s: Carta Geológica Nacional “Geología del cuadrángulo de Arequipa a escala 1:100 000”. Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a la Formación Moquegua.
- e) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Boletín N° 81, Serie C: “Peligro geológico en la región Arequipa a escala 1:500 000” (2021). En el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa (SMM), el sector Socabon, se encuentra en susceptibilidad alta a muy alta.

### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

La zona evaluada corresponde al sector Socabon, ubicados en el Distrito Vitor, Provincia y Departamento de Arequipa (figura 1); en la coordenada siguiente:

**Tabla 1.** Coordenada del sector Socabon.

<b>Punto</b>	<b>UTM - WGS84 - Zona 19S</b>		<b>Geográficas</b>	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<b>Punto Central</b>	194054	8181663	-16.427037°	-71.864690°



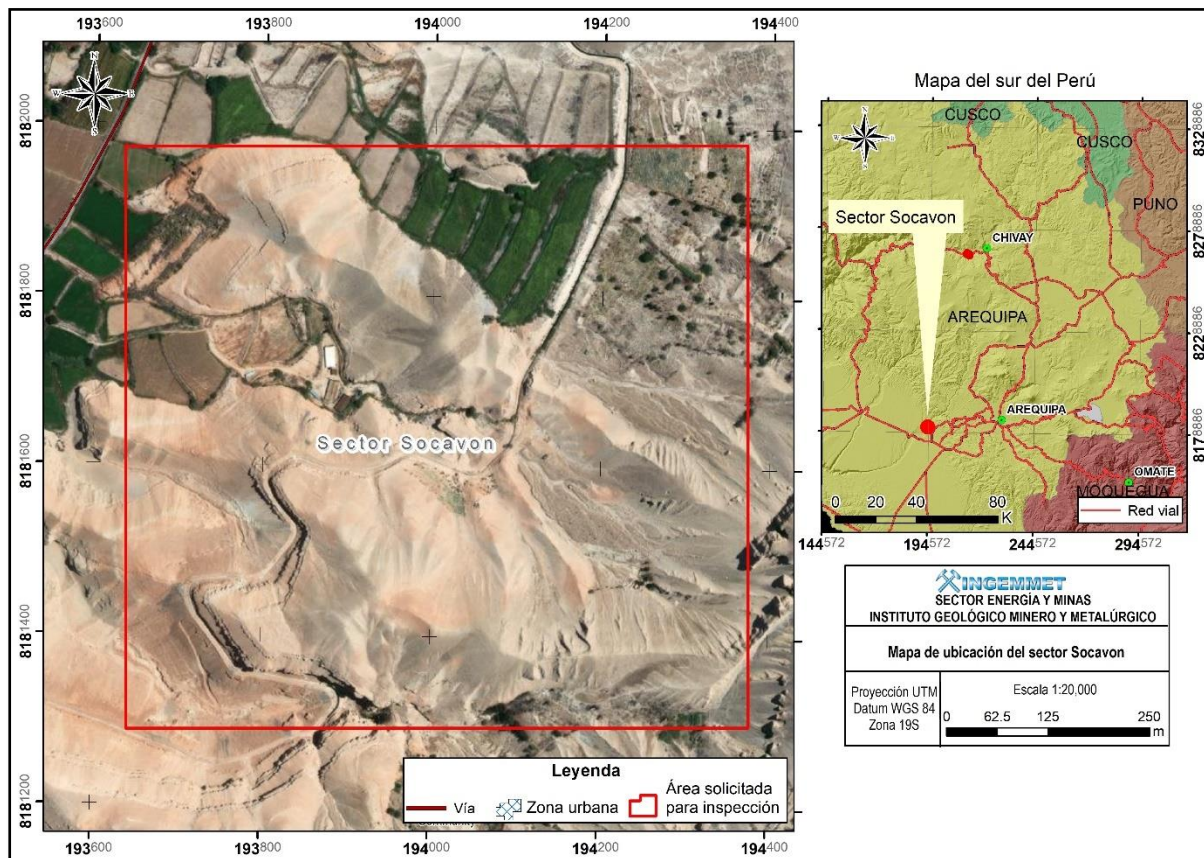


Figura 1. Ubicación del área evaluada en el distrito de Vitor.

1.3.2. **Accesibilidad**

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

Tabla 2. Ruta de acceso al sector Socabon

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa - Vitor	Asfaltada	74	1 horas y 30 min
Vitor - Socabon	Asfaltada	13	20 min

1.3.3. **Clima y Precipitación pluvial**

El sector Socabon del distrito de Vitor cuenta con un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, templado – E(d)B', con temperaturas máximas entre 19 a 31 °C y mínimas entre 3 y 21 °C.

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). De acuerdo con datos de las estaciones meteorológicas La Joyal, 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. Se tienen una precipitación máxima de hasta 18.5 mm en diciembre del año 1986. Precipitación fuerte según el Senamhi.

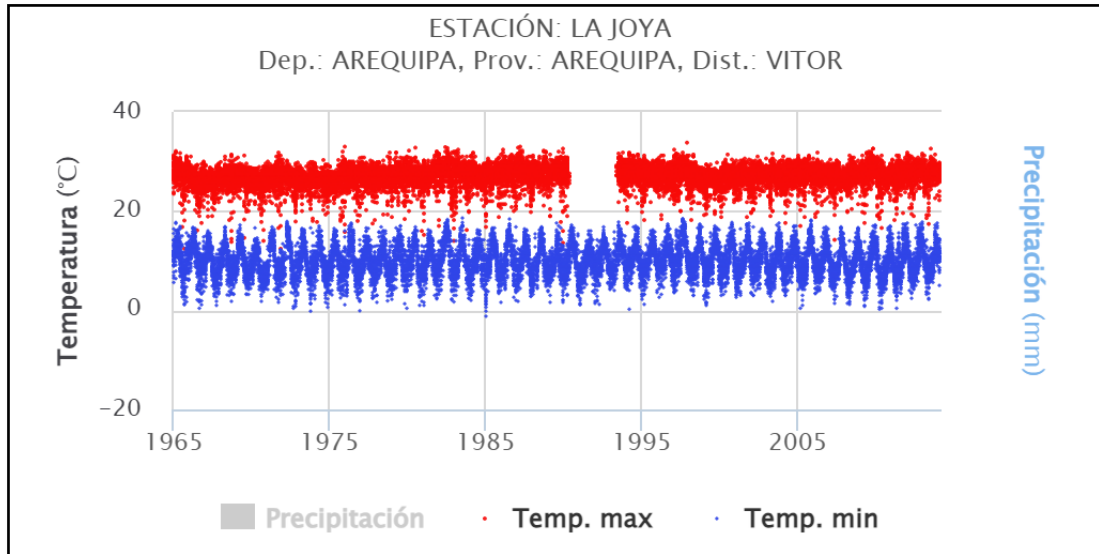


Figura 2. Precipitación diaria según la estación La Joya. Fuente: Senamhi.

### 1.3.4. Población

El sector Socabón del distrito de Vitor es uno de los distritos menos poblado de la provincia distrito, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); en Socabon viven 15 personas (figuras 3).

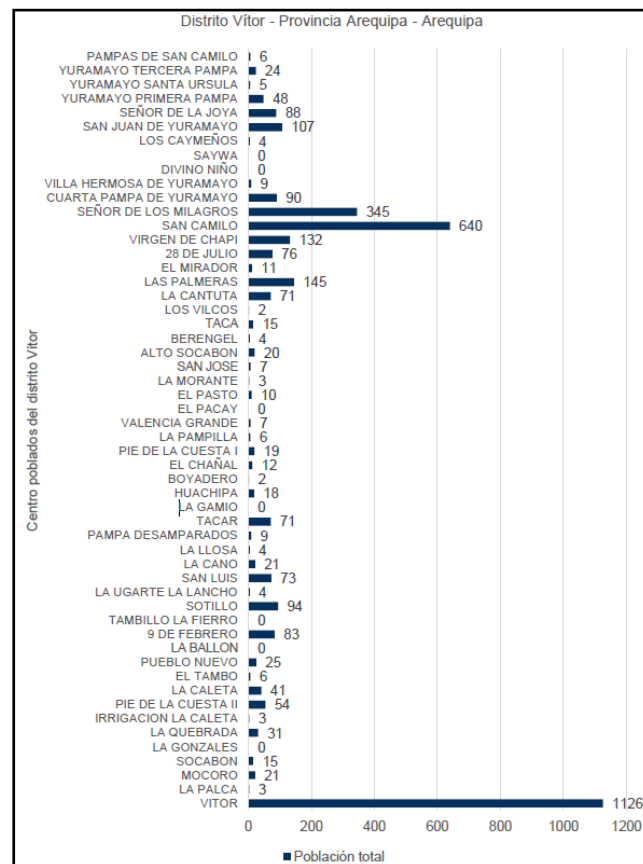


Figura 3. Población del distrito de Vitor "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>), Tomado del Informe Técnico N° A7433. INGEMMET



## 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:

**Actividad:** La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

**Activo:** Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

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

**Aluvial:** Génesis de la forma de un terreno o depósito de material debida a la acción de las corrientes naturales de agua.

**Aluvión:** Flujo extremadamente rápido que desciende por cauces definidos, formando ríos de roca y lodo, alcanzando grandes velocidades, con gran poder destructivo. Están relacionados a lluvias excepcionales, aludes en nevados, movimientos sísmicos, ruptura de lagunas o embalses artificiales y desembalse de un río producido por un movimiento en masa.

**Arcilla:** Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento.

**Avalancha de detritos:** Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo (Hung et al., 2001).

**Avalancha de roca:** Movimiento tipo flujo, extremadamente rápido y masivo de roca fragmentada proveniente de un gran deslizamiento de roca, o de una caída de roca (Hung et al., 2001).

**Buzamiento:** Ángulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

**Caída:** Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

**Caída de rocas:** Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

**Coluvial:** Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

**Coluvio-deluvial:** Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

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

**Crecida de detritos:** Flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados flujos hiperconcentrados (Hungry et al., 2001).

**Deluvial:** Terreno constituido por enormes depósitos de materiales que fueron transportados por grandes corrientes de agua.

**Derrumbe:** Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

**Deslizamiento:** Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

**Deslizamiento rotacional:** Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y una contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

**Deslizamiento traslacional:** Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de discontinuidades como fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella (Cruden y Varnes, 1996).

**Erosión de laderas:** Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a

medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

**Erosión fluvial:** Este fenómeno está relacionado con la acción hídrica de los ríos al socavar los valles, profundizarlos, ensancharlos y alargarlos. Ocurre cuando periodos con abundantes o prolongadas precipitaciones pluviales, en las vertientes o quebradas, aumentan el caudal de los ríos principales o secundarios que drenan una cuenca.

**Erosión marina:** La zona costera es erosionada directamente por la acción marina, siendo las olas el agente más común de la denudación costera. También se tiene acción erosiva de las corrientes de marea y corrientes litorales. La fuerza del golpe de las olas sobre un acantilado da origen a la erosión directa y remoción de detritos desde los acantilados o costas montañosas o colinadas sumergidas, las cuales gradualmente se van regularizando, pero con una morfología que depende de la litología.

**Escarpe o 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.

**Factor condicionante:** Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

**Factor detonante:** Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

**Flujo:** Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

**Flujo de detritos (huaico):** Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

**Flujo de lodo:** Tipo de flujo con predominancia de materiales de fracción fina (limos, arcillas y arena fina), con al menos un 50%, y el cual se presenta muy saturado.

**Flujo de tierra:** Movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico. Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto. El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

**Formación geológica:** Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

**Fractura:** Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan. Los rangos de



fracturamiento rocoso, dependiendo del espaciamiento entre las fracturas, pueden ser: maciza, poco fracturada, medianamente fracturada, muy fracturada y fragmentada.

**Hundimiento:** Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000).

**Inactivo abandonado:** 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).

**Inactivo estabilizado:** Movimiento en masa cuyo desplazamiento ha cesado debido a la ejecución de obras correctivas o de control (Cruden y Varnes, 1996).

**Inactivo latente:** Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen (WP/WPI, 1993).

**Inactivo relicto:** Movimiento en masa que claramente ocurrió bajo condiciones geomórficas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varnes, 1996).

**Inundación fluvial:** La inundación fluvial se define como el terreno aledaño al cauce de un río, que es cubierto por las aguas después de una creciente. Las causas principales de las inundaciones son las precipitaciones intensas, las terrazas bajas, la dinámica fluvial y, en algunos casos, la deforestación.

**Inundación pluvial:** Se originan por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Se genera tras un régimen de lluvias intensas persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo sobre un suelo poco permeable.

**Ladera:** Superficie natural inclinada de un terreno.

**Licuefacción:** Pérdida de la resistencia al corte de un suelo debido a un incremento rápido de la presión de poros del agua. El caso más común se presenta cuando ocurre un sismo en suelos granulares finos saturados con baja densidad relativa. Sin.: licuación.

**Lutita:** Roca sedimentaria de grano muy fino, de textura pelítica, es decir integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de tamaños de la arcilla y del limo.

**Meteorización:** Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes. Los rangos de meteorización se clasifican en: roca fresca, ligeramente meteorizada, moderadamente meteorizada, altamente meteorizada, completamente meteorizada y suelo residual.

**Movimiento complejo:** Tipo de movimiento en masa que involucra una combinación de uno o más de los tipos principales de movimientos, ya sea dentro de las diferentes partes que componen la masa en movimiento, o en los diferentes estados de desarrollo del movimiento (Varnes, 1978). Los más comunes son: deslizamiento-flujo, derrumbe-

flujo, deslizamiento-caída de rocas, deslizamiento-flujo, deslizamiento-reptación, entre otros.

**Movimiento en masa:** Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

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

**Proluvial:** Complejo sedimento deltaico friable de material fragmental, acumulado al pie de una pendiente como resultado de una ocasional avenida torrencial.

**Propagación lateral:** Expansión de una masa de roca o suelo cohesivo, combinada con una subsidencia general de la masa fracturada de material. Sin.: extensión lateral, expansión lateral.

**Reactivado:** Movimiento en masa que presenta alguna actividad después de haber permanecido estable o sin movimiento por algún periodo de tiempo.

**Reptación de suelos:** Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

**Retrogresivo:** Tipo de actividad de un movimiento en masa, en el cual la superficie de falla se extiende en la dirección opuesta al movimiento del material desplazado (Cruden y Varnes, 1996).

**Runup:** Desplazamiento hacia arriba del pie de un deslizamiento que ocurre cuando la masa de este pega contra una ladera opuesta a la zona de arranque.

**Saturación:** El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

**Suelo residual:** Suelo derivado de la meteorización o descomposición de la roca in situ. No ha sido transportado de su localización original, también llamado suelo tropical.

**Susceptibilidad:** La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

**Suspendido:** Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

**Talud:** Superficie artificial inclinada de un terreno que se forma al cortar una ladera, o al construir obras como por ejemplo un terraplén.

**Velocidad:** Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

**Vuelco:** Movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia delante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto o pivote de giro en su parte inferior. Este movimiento ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

**Zona crítica:** Zona o área con peligros potenciales de acuerdo con la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

### 3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de Arequipa, Hojas 33-s, a escala 1:100,000 (Vargas, L., 1970). 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

Las unidades litoestratigráficas se muestran en el Mapa 1. A continuación se realiza la descripción de sus características más importantes.

##### **Formación Sotillo (Pp-so3):**

Unidad conformada por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcóscicas y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas. Aflora en ambas márgenes, en la parte media y baja de la margen izquierda del valle de Vitor.

Se observan superficies fracturadas con estratificación contra la pendiente, medianamente consolidadas, muy meteorizadas y de fácil erosión. Además, se intercalan con capas de greda rojiza, algo tobácea de grano muy fino y contienen laminillas de diminutos granos de mica y cuarzo. Ambas alternan con capas de yeso cristalizado o fibroso. También hay pequeñas venas de este mineral que cortan esta unidad.

El contenido de venillas de yeso en las rocas lo hace muy inestable, pues el yeso al contacto con el agua se hidrata, lo que ocasiona un aumento de su volumen, provocando tensiones en las rocas. Estas tensiones pueden causar que las rocas se agrieten y/o se desmoronen, lo que provoca derrumbes y otros peligros geológicos.

##### **Formación Moquegua Inferior (Po-mo/i4):**

Está constituida por areniscas tobáceas y conglomerados. Se observan superficies fracturadas poco consolidadas, con evidencia de planos de desprendimientos recientes.



Prueba de ello son los coluvios depositados en la base. Hacia el flanco izquierdo, se observan surgencias de agua que afloran alineadas sobre niveles más impermeables.

En el depósito, además de los conglomerados rodados de granito, granodiorita, areniscas y lavas, existen lentes de lapilli, cenizas y tufos retrabajados en la parte superior, estos cada vez se hacen menos visibles. En las partes altas se distinguen rodados erráticos redondeados y sub-redondeados de rocas mayormente volcánicas.

El conglomerado está conformado por bloques (35%) de hasta 40 centímetros, gravas (45%) en matriz areno-limosa (20%), intercaladas con areniscas arcillosas en proceso de litificación. Estas rocas están altamente meteorizadas y tienen estructuras poco fracturadas. Estos afloramientos rocosos se encuentran en la cima de las colinas y lomadas, hacia el oeste del sector Socabon.

#### **Formación Moquegua superior (Po-mo/s4):**

Reposa en discordancia angular sobre la Formación Moquegua Inferior, litológicamente formados por conglomerados (bloques, gravas y arenas), con intercalaciones de niveles volcánicos (Marocco et al., 1984).

Este miembro presenta capas horizontales y en algunos casos muestran una ligera inclinación al suroeste. Esta formación se encuentra no consolida, son de fácil erosión. También se tienen paquetes de tobas volcánicas no litificadas.

#### **Depósitos Coluviales (Qh-cl):**

Esta unidad se encuentra en las laderas de las lomadas y colinas, en el sector Socabon. Están compuestos por fragmentos de rocas polimícticas redondeadas a subredondeadas, conformadas por bloques con tamaños máximos de hasta 0.35 m y gravas dentro de una matriz areno limoso con cierto contenido de cenizas.

Los elementos de estos depósitos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de formas redondeadas a subredondeadas, las cuales van desde bloques (35%), gravas (45%), dentro de una matriz areno limosa (20%). Estos depósitos son producto de caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos.

#### **Depósitos Proluviales (Qh-pl):**

Conformado por fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc.), con matriz limo arenoso-arcilloso depositado en el fondo de las quebradas, no consolidados. Se forman por corrientes temporales.

#### **Depósitos Aluviales (Qh-al):**

Esta unidad está localizada en el lecho del valle de Vitor, el tamaño de los elementos constituyentes varía de bloques a arcillas. Se presentan como terrazas y sobre ellas se desarrollan actividades agrícolas.

## 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

### 4.1 Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos varían de moderado ( $5^\circ - 15^\circ$ ) a fuerte ( $15^\circ - 25^\circ$ ), también se observan en la parte alta pendientes muy fuertes ( $25^\circ - 45^\circ$ ) y muy escarpados ( $>45^\circ$ ) (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).

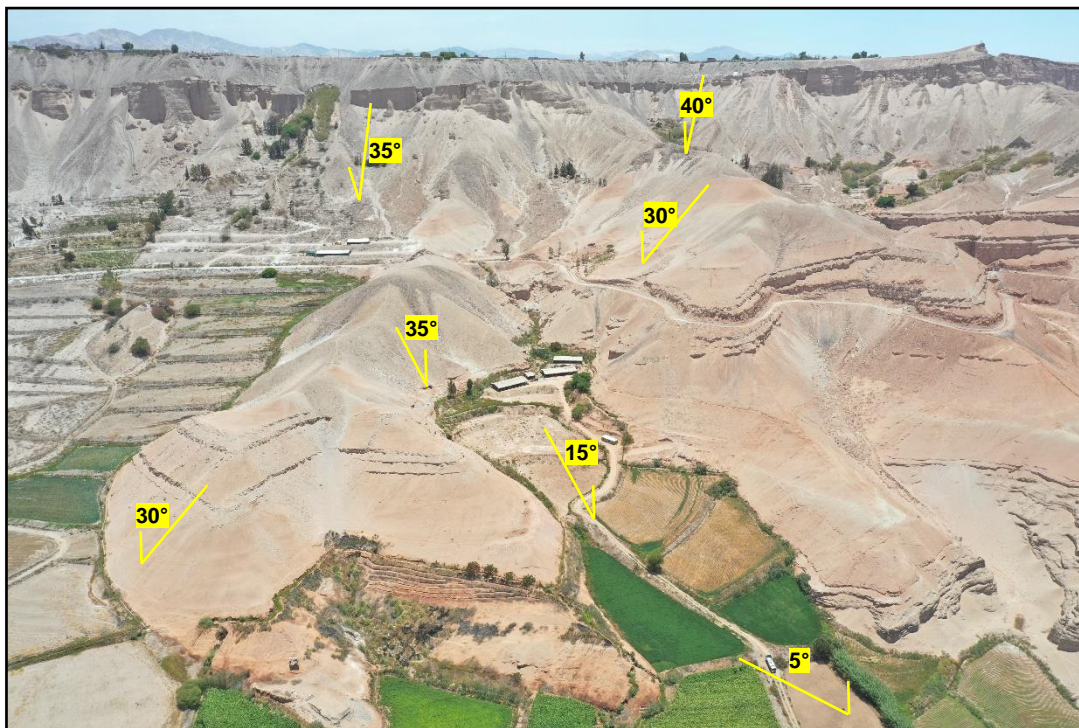


Figura 4. Pendientes en el sector Socabón.

Tabla 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno ( $^\circ$ )	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, se ha empleado la propuesta 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.

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el mapa 2 del Anexo 1.

#### 4.2.2.1 Unidad de colina y lomada

**Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs):** En el valle de Vitor se presentan como cumbres subredondeadas producto de la erosión. Geoformas asociadas a rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas y lutitas. Estos relieves en el sector Socabón, poseen cimas suaves y las laderas tienen pendiente fuerte (15°- 25°) a muy fuerte (25°- 45°).

**Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs):** Se encuentran al suroeste del sector Socabon, son relieves notablemente disectados por la erosión y ligeramente cubiertos por depósitos eólicos de arena fina a media y cenizas en los fondos de surcos (provenientes de la erupción del volcán Huyanaputina 1600).

#### 4.2.2.2 Unidad de terraza

**Terraza aluvial (T-al):** Son geoformas planas que se encuentran dispuestas a los costados del lecho principal del río Vitor. Han sido disectadas por las corrientes fluviales como consecuencia de la profundización del valle. Están sujetas normalmente a erosión fluvial. En el sector Socabon, sobre estos terrenos, se desarrollan extensas zonas de cultivos y redes viales.

### 5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el sector Socabon, corresponde a avalancha de detrito, caída de rocas y flujos de detritos. 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 5), 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. (Anexo 1).



Figura 5. Incisión del río Vitor, que forma el valle de Vitor.



## 5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

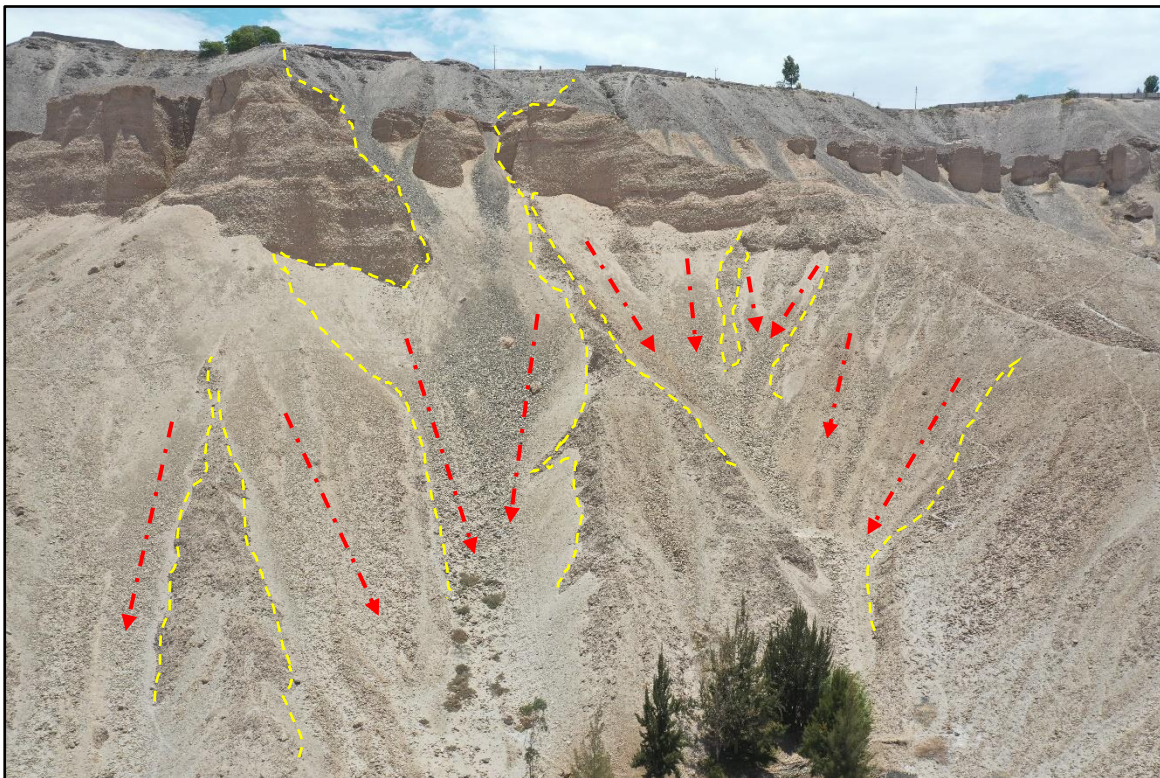
### Avalancha de detritos

En la parte alta del sector Socabon se aprecian cicatrices de roturas, desde donde arrancan las avalanchas de detritos, cuyo proceso geodinámico es condicionado por la presencia de terrenos áridos.

El peligro de tipo flujo no canalizado en el sector Socabon se caracteriza por el desplazamiento libre de avalanchas de detritos, rápidas a extremadamente rápidas que se dan en las laderas de las colinas del sector.

Las avalanchas se han generado recientemente y están compuestas por fragmentos de rocas redondeadas a subredondeadas, se tienen bloques (35%) con tamaños hasta de 0.35 m, gravas (45%) en matriz areno limoso (20%). (Figura 6).

El material que conforma las avalanchas de detritos estuvo parcialmente saturado, su desplazamiento fue de forma rápida a extremadamente rápida, esto se debe por las pendientes del terreno (muy fuertes a muy escarpadas  $>25^\circ$ ). Este proceso se produce durante los periodos de precipitaciones pluviales extremas.



**Figura 6.** Se aprecia la acumulación de avalancha de detritos en las laderas de las colinas y lomadas al sureste del sector Socabon

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

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 ampliamente en el (Anexo 2).

### **Caída de rocas**

Las caídas de rocas son frecuentes en las laderas de las colinas del valle de Vitor. Esto se debe a que el material de las laderas está conformado por depósitos no consolidados, principalmente conglomerados con bloques de hasta 40 centímetros.

En ambos casos las rocas son fácilmente erosionados por la incisión del agua por las fracturas, lo que origina con el tiempo que los fragmentos de roca queden sueltos y se desplacen cuesta abajo.

Además, las condiciones de sitio como las pendientes muy escarpadas ( $>45^\circ$ ) de los frentes rocosos, hacen que sea propenso a generar caída de rocas (figura 7).

Las caídas de rocas tienen alturas desde 7 a 23 m. Los bloques desplazados alcanzan dimensiones hasta 3 m. La zona de arranque tiene una longitud de 1500 m, a lo largo de la cumbre de la colina. Las caídas de rocas son activas y se les califica como peligro alto.



**Figura 7.** Zona de desprendimiento de rocas en el sector Socabon

### **Flujo de detritos**

En la zona central del sector Socabon, en la parte baja de los depósitos de avalancha de detritos se aprecian depósitos de flujo de detritos, los cuales están conformados por bloques (35%) con tamaños máximos de hasta 0.30 m, gravas (50%) en matriz areno limoso (15%). Se identificó depósitos con espesores máximos de hasta 1.2 m.





**Fotografía 1.** Depósitos proluviales, los cuales provienen de flujos de detritos antiguos.

## 5.2. Factores condicionantes

Las causas principales están relacionados a los siguientes factores:

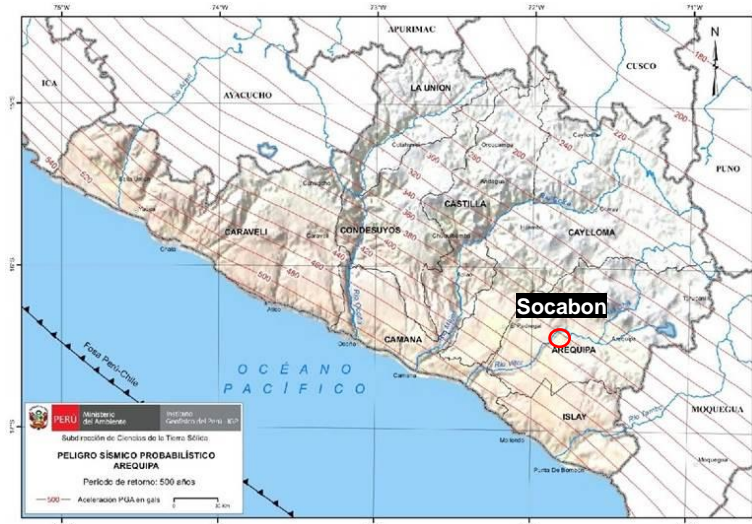
- Litológicamente el sector presenta rocas poco consolidadas de conglomerados en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas altamente meteorizadas. El conglomerado, por estar conformado por una matriz areno-limosa, es susceptible a la erosión. Esto puede causar que los fragmentos de roca se desprendan y se desplacen cuesta abajo.
- También se tienen afloramientos de lutitas intercaladas con capas de yesos, que se encuentran altamente meteorizadas y medianamente fracturadas. El contenido de yeso, al contacto con el agua se llega a aumentar de volumen, por lo cual la roca pierde cohesión. Esto puede causar que las rocas se fragmenten, lo que aumenta la probabilidad de derrumbes.
- Geomorfológicamente el sector presenta colinas y laderas con pendientes variables, desde muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) a muy escarpadas ( $>45^{\circ}$ ). Estas características permiten que el material suelto que se encuentra sobre la ladera discurra fácilmente por efectos de la gravedad y la escorrentía de aguas superficiales. Generando de esta manera caída de rocas, derrumbes y avalanchas de detritos.

## 5.3. Factores desencadenantes

- Los sismos pueden acelerar y movilizar las estructuras internas del suelo, lo que puede desencadenar caídas de rocas, derrumbe y avalancha de detritos. Cabe mencionar que sector Socabon se encuentra cerca a la Falla inversa Caraveli-Sicera-Lluta-Vitor, que controla la neotectónica de la zona.

El sismo más reciente ocurrió el 16 de diciembre de 2020, con una magnitud de 5.5 en la escala de Richter, se sintió en varias regiones del sur del Perú, incluyendo Arequipa. Según Reporte Complementario N° 4556 - 17/12/2020 / COEN – INDECI, a consecuencia del sismo en el valle de Vitor se produjo pequeños derrumbes en las laderas de las colinas, principalmente en los cerros Chapi y Palmeras afectando a las vías de comunicación.

- Iso-aceleraciones en el Perú, las curvas de Iso-aceleraciones permiten conocer, en términos de probabilidad, la severidad sísmica con la cual podría ser sacudida un área en un determinado lapso. Este parámetro es expresado en términos de aceleración, (Tavera et al, 2014).



**Figura 8.** Distribución de líneas de Iso-aceleración correspondiente a un periodo de retorno de 50 años con el 10% de excedencia. Tavera et al, (2014)

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



## 6. CONCLUSIONES

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

1. En el sector Socabon se han identificado rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas conformadas por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas, correspondientes a la Formación Sotillo. También areniscas arcillosas, areniscas tobáceas y conglomerados no consolidados de la Formación Moquegua Inferior, conglomerados, con intercalaciones de niveles tobas de la Formación Moquegua superior. Además, se tienen depósitos coluviales, proluviales y aluviales no consolidados.
2. Geomorfológicamente el área evaluada se aprecian colinas y lomadas en roca sedimentaria; colinas y lomadas disectada en roca sedimentaria y terraza aluvial. Se ha identificado mayor presencia de movimientos en masa en las dos primeras unidades.
3. Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Socabon es considerado de PELIGRO MEDIO. Se pueden presentar movimientos en masa como avalancha de detritos, caída de rocas y flujos de detritos.
4. Los peligros geológicos están condicionados por: a) materiales no consolidados, provenientes de las Formación Sotillo, Moquegua inferior y superior; y depósitos coluviales y proluviales; b) pendiente de terreno, varía de llano a inclinado suavemente ( $1^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ), con cambios abruptos a terrenos con pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) y escarpadas ( $>45^{\circ}$ ).

## 7. RECOMENDACIONES

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

1. Restringir el crecimiento urbano hacia las laderas del sector Socabon, para evitar afectación por movimientos en masa.
2. Implementar alternativas para el manejo de problemas por peligros geológicos de tipo avalancha de detritos, descritos ampliamente en el Anexo 2.
3. Sustituir los canales de aguas por tuberías flexibles.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.



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



Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN  
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-l) 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 km<sup>2</sup>.

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

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

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

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

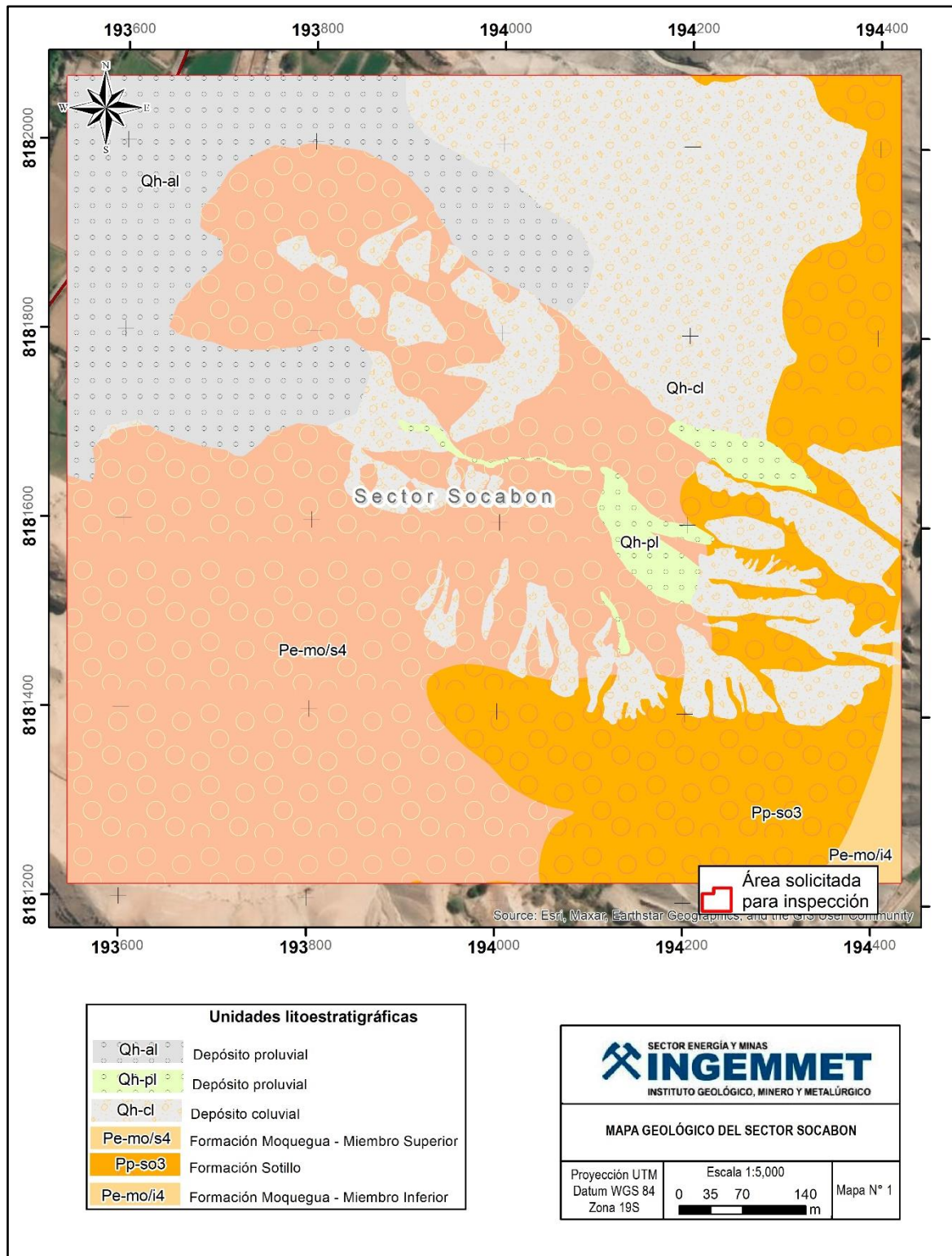
Varnes, D. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

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

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

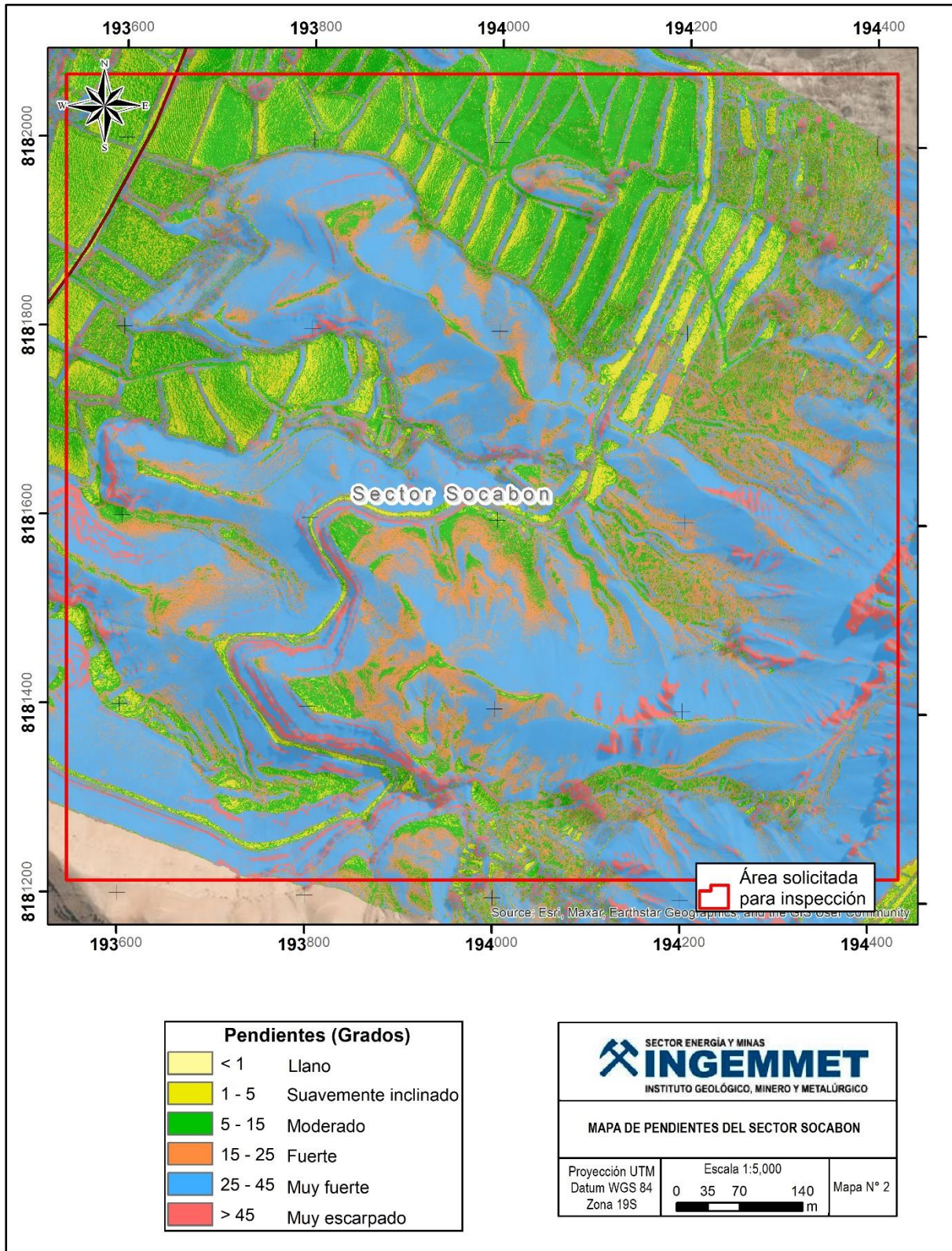
WP/WLI (1993) Multilingual landslide glossary. The Canadian Geotechnical Society. Bitech Publishers Ltd.

**ANEXO 1: MAPAS**

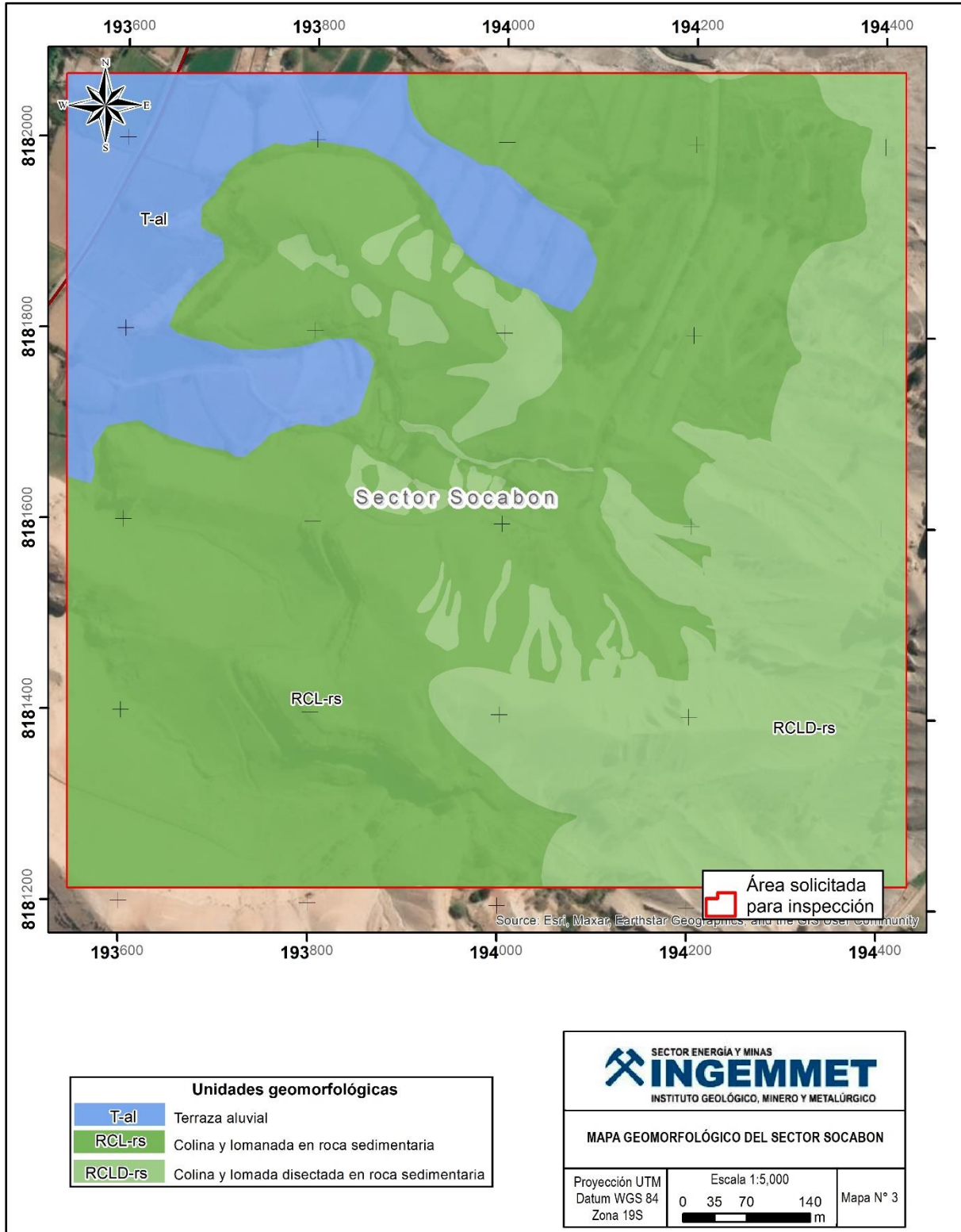


**Mapa N°1.** Geología del sector Socabon: Tomado y modificado de Vargas Vilchez, Luis, 1970, Geología del cuadrángulo de Arequipa (32-s-l) a escala 1: 100 000. Así como mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET, el cual es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000.



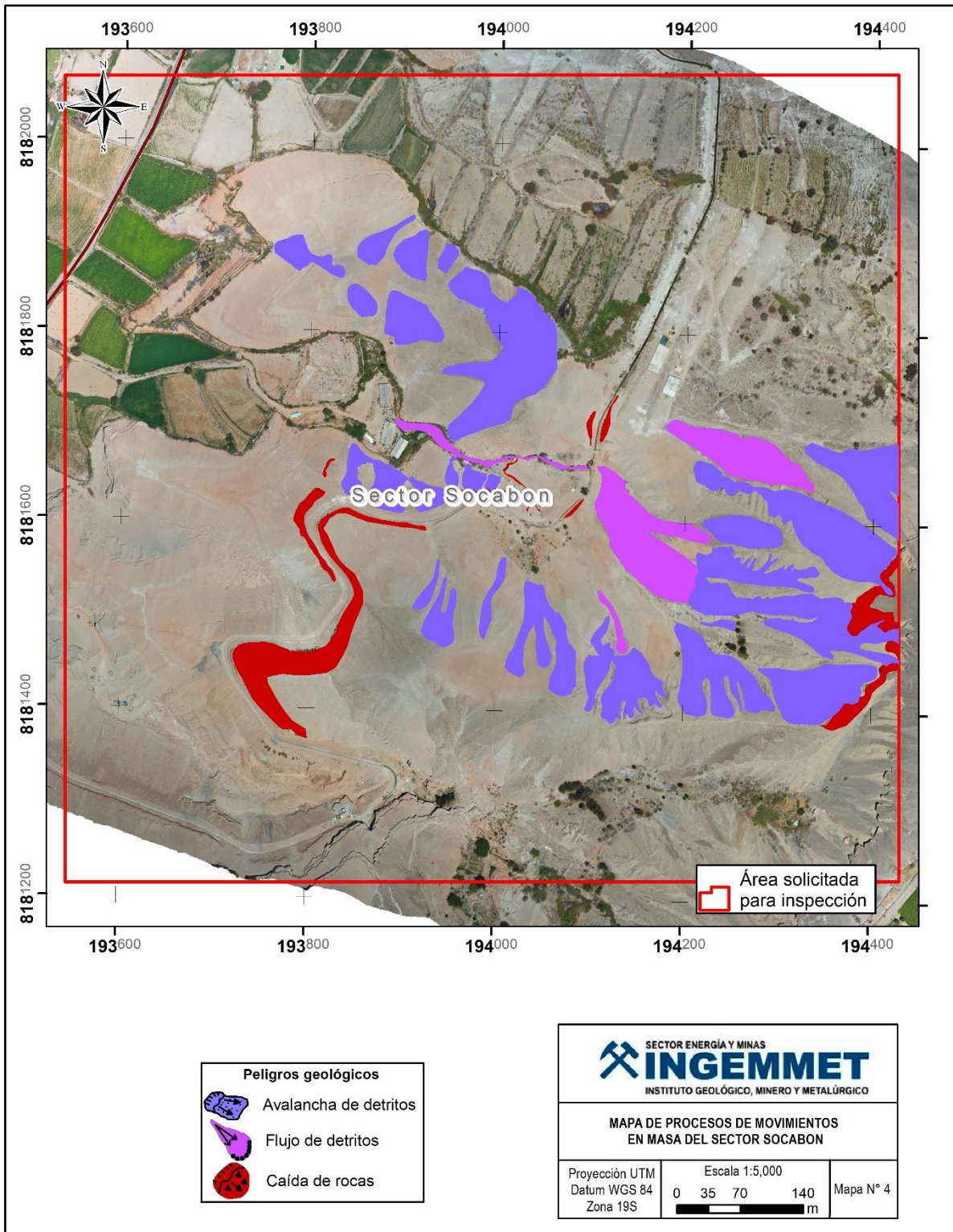


**Mapa N°2.** Pendientes del terreno en el sector Socabon



**Mapa N°3.** Geomorfología del sector Socabon: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.





Mapa N°4. Cartografía de peligros geológicos en el sector Socabon.

## **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.

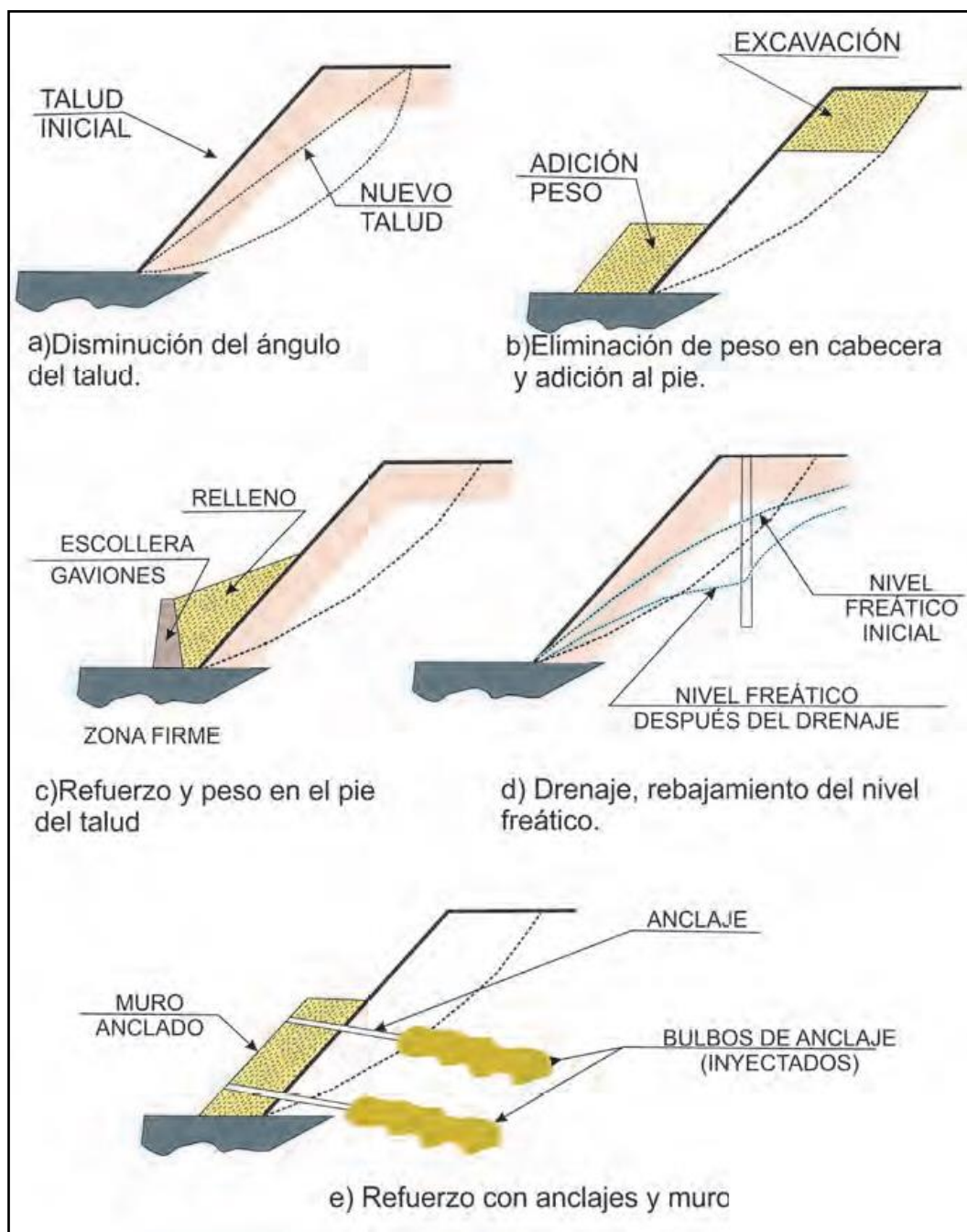
La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente 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 9).



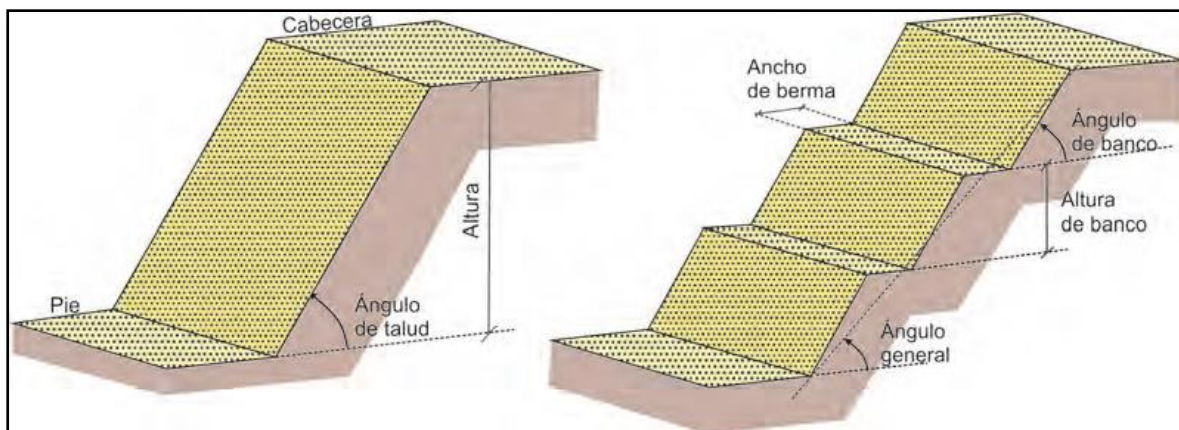


**Figura 9.** Mitigación de peligros por caídas de rocas, derrumbes y avalancha de detritos, (Vilchez, 2021)

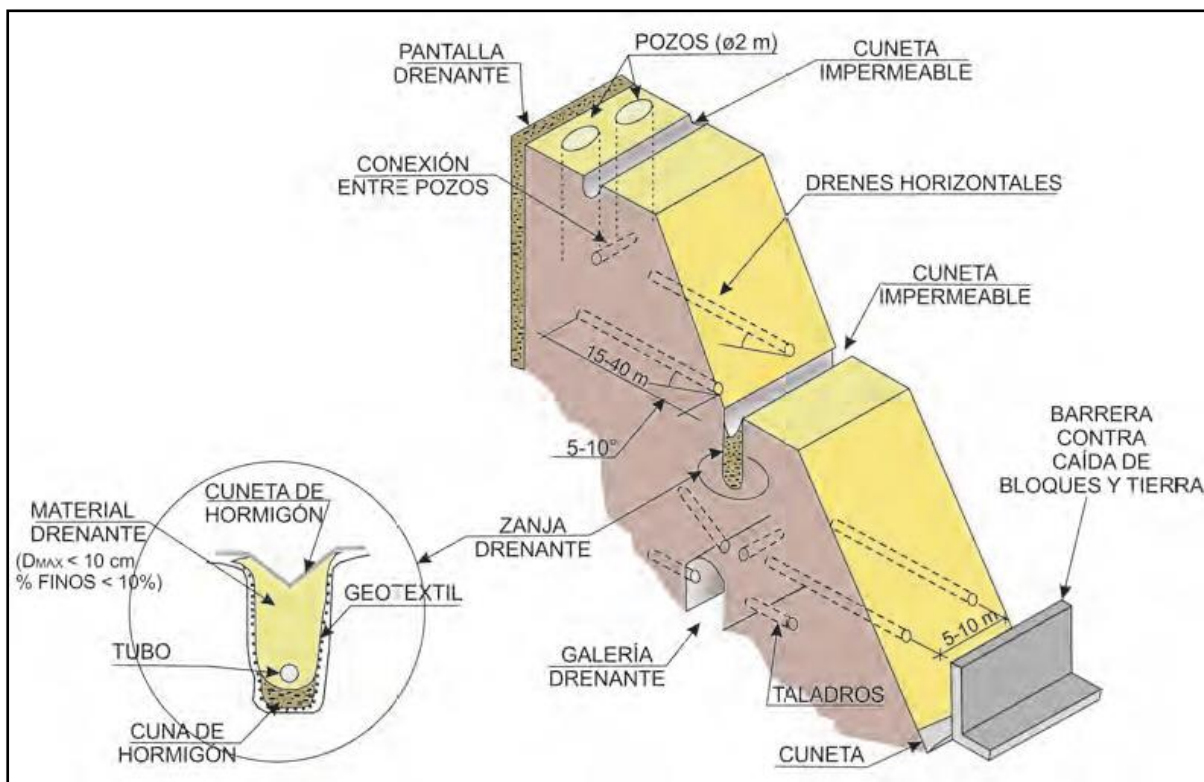
**Corrección por modificación de la geometría del talud:** Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte del talud, escalonamiento de taludes en bancos (figura 10), etc. Mediante este tipo de corrección, se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, y se obtiene una nueva configuración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

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

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



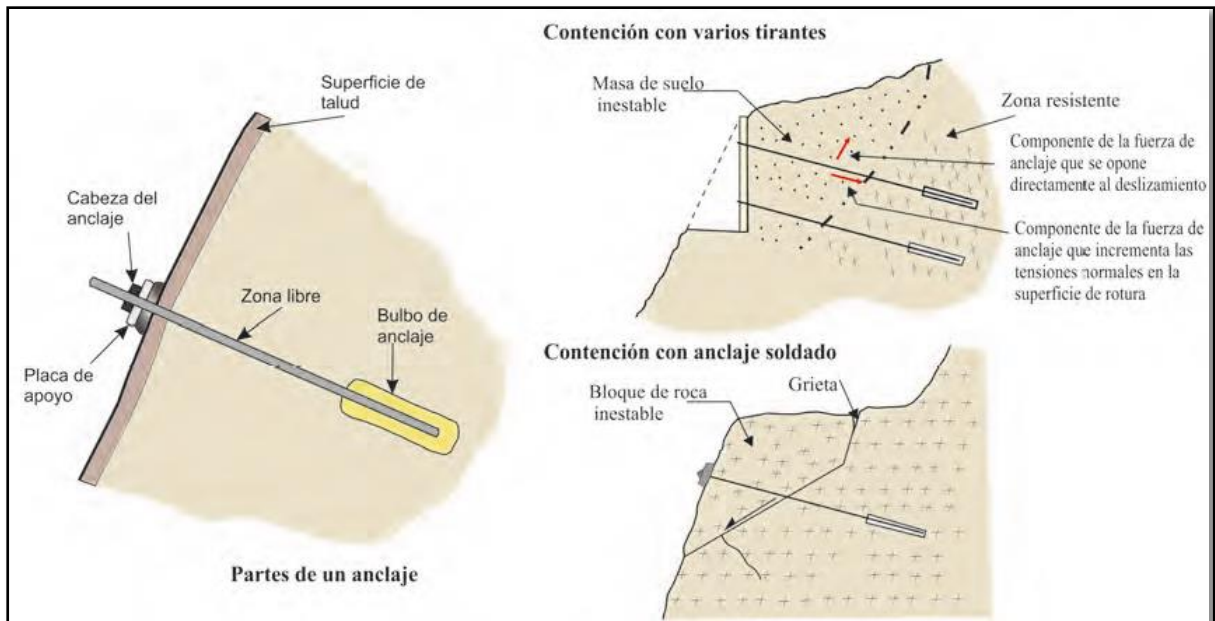
**Figura 10.** Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).



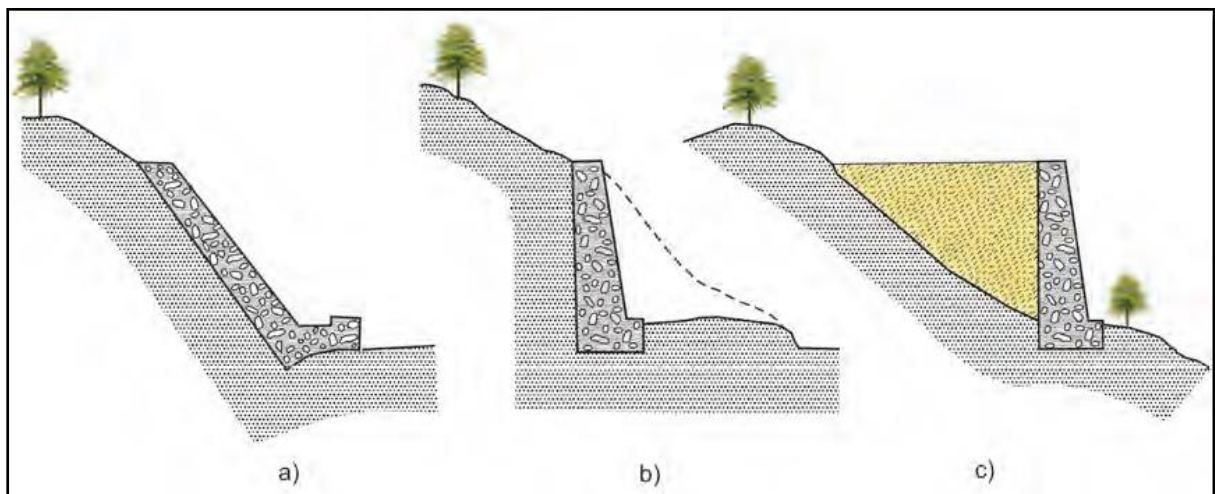
**Figura 11.** Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilchez, 2021)

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

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

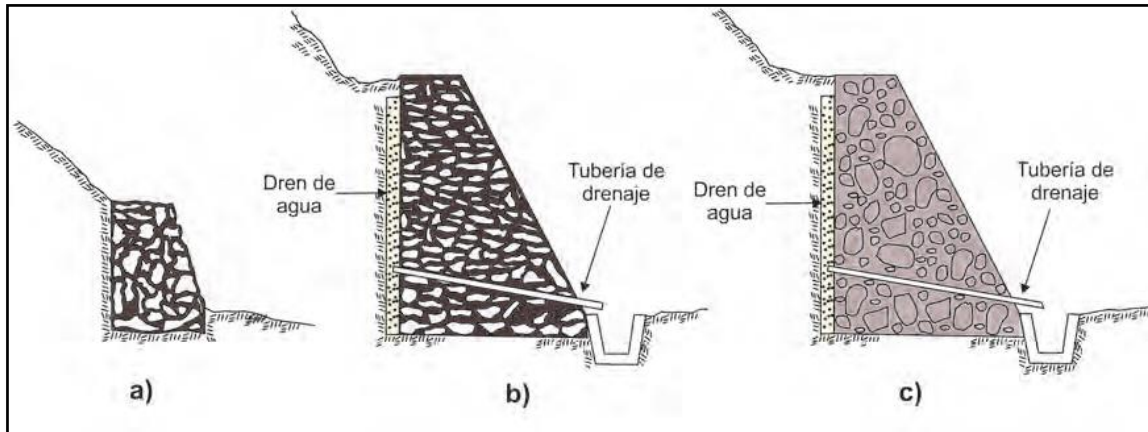


**Figura 12.** Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

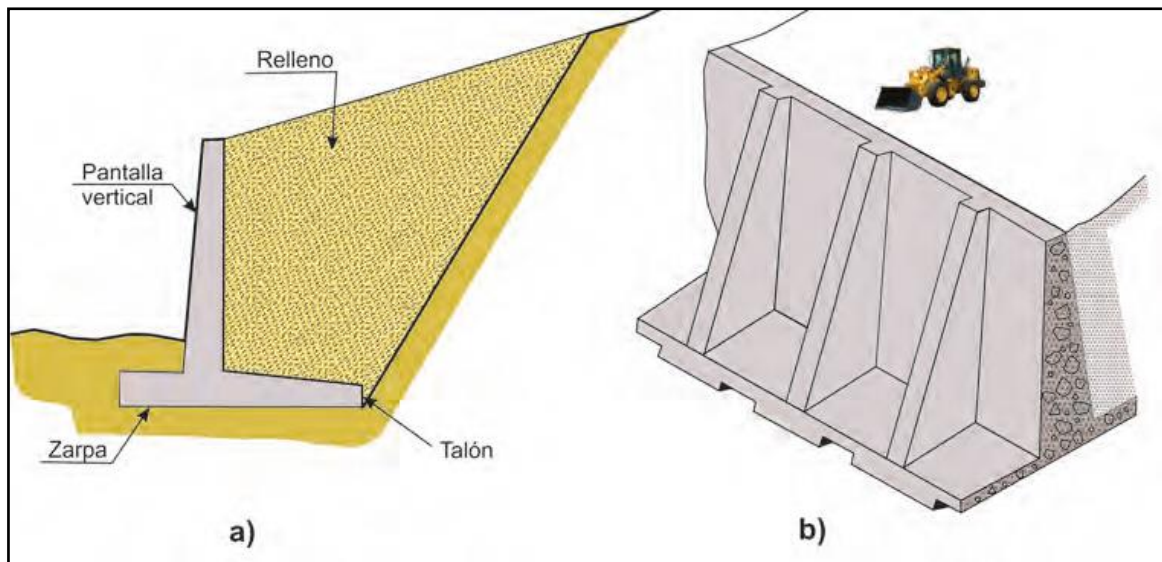


**Figura 13.** Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).





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



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

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

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



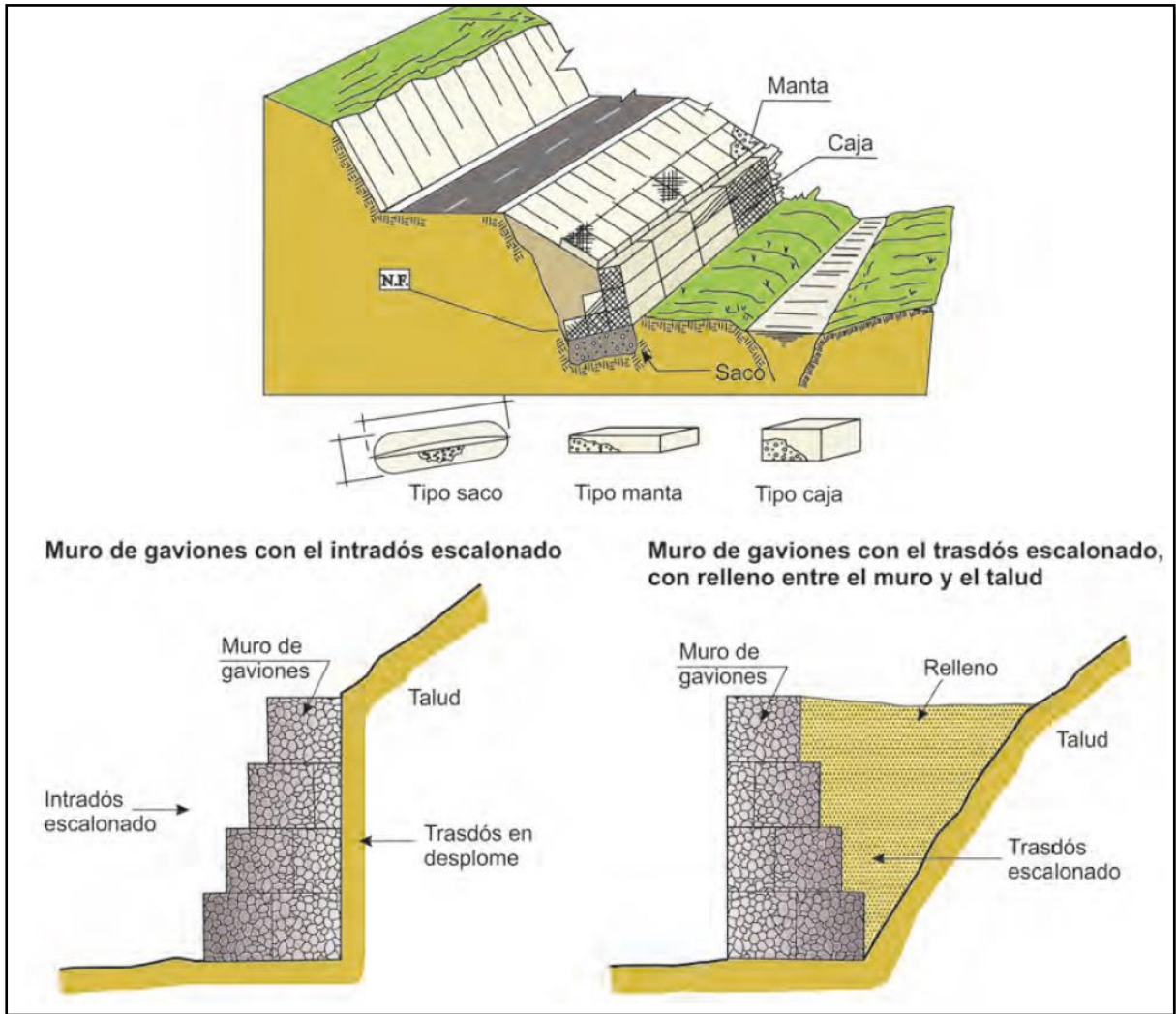


Figura 16. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilchez, 2021)

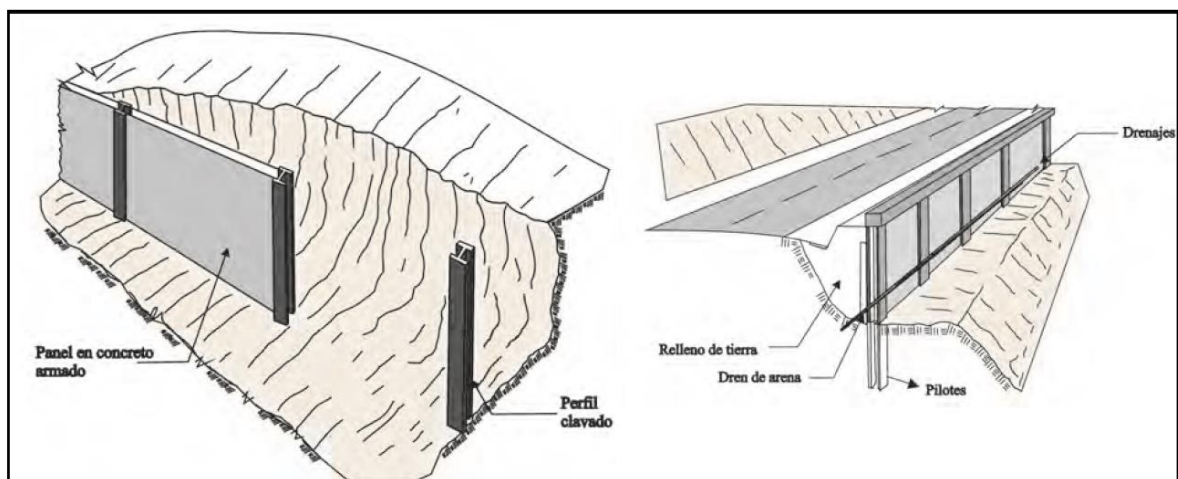


Figura 17. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilchez, 2021)

**Correcciones superficiales:** Estas medidas se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno con la finalidad de evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud, eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan y aumentar la

seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales. En esta categoría, se tiene, por ejemplo, el uso de: 1) mallas metálicas que cubren la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud. En la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca por caer se encuentra entre 0,6 a 1 m (figura 18).



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