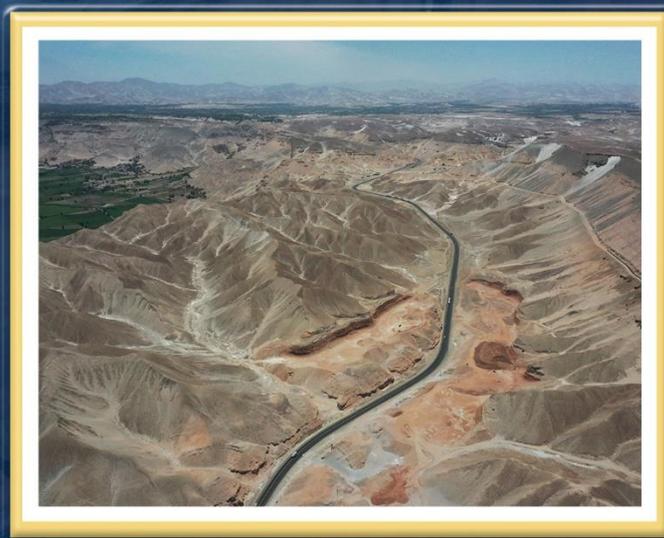


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7590

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO EN LA ZONA DE ACOGIDA DEL SECTOR PIE DE LA CUESTA

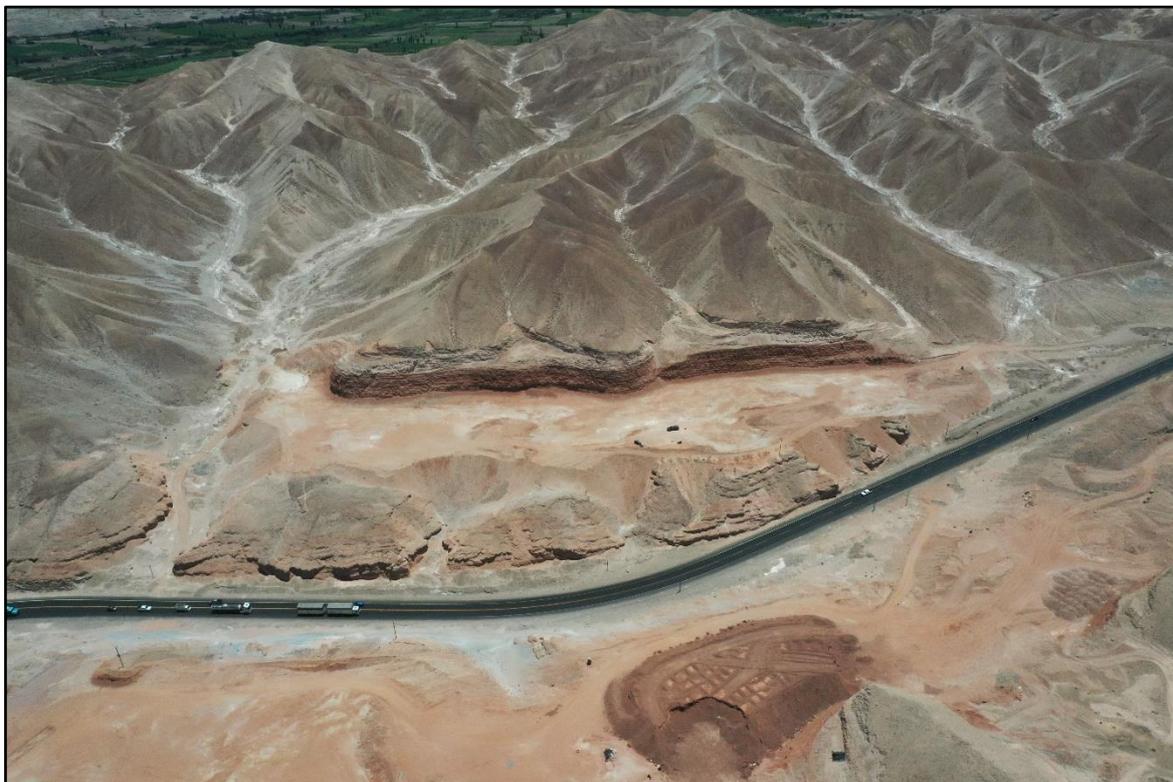
Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Vitor



DICIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO EN LA ZONA DE ACOGIDA DEL SECTOR PIE DE LA CUESTA

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 en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta. Distrito Vitor, provincia Arequipa, departamento Arequipa". INGEMMET, Informe Técnico N° A7590, 31P.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	27
1.1. Objetivos del estudio	27
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	27
1.2.1. Ubicación.....	28
1.2.2. Clima y precipitación.....	30
2. DEFINICIONES	31
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	36
3.1. Unidades litoestratigráficas	36
3.1.1. Formación Sotillo (Pp-so).....	36
3.1.2. Formación Moquegua (Po-mo).....	37
3.1.3. Deposito coluvial 1 y 2 (Qh-col).....	38
3.1.4. Depósitos Antropógenos 1 y 2 (Q-ant).....	38
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	39
4.1. Pendientes del terreno	39
4.2. Unidades Geomorfológicas	39
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	40
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	41
5.1.1. Derrumbes	41
5.2. Factores condicionantes	42
5.3. Factores desencadenantes.....	43
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXO 1 MAPAS	31
ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCION Y MITIGACION	35

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizada en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, del Distrito Vitor, Provincia y 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 la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, afloran lutitas intercaladas con capas de yeso de la Formación Sotillo. Estas rocas se encuentran medianamente meteorizadas con estructuras medianamente fracturadas, por contener vetillas de yeso. Además, se aprecia un nivel de aproximadamente 1 m de yeso, en el piso del terraplén; por lo que se presentan inestables, ya que, al contacto con el agua, se hidratan y pierden su cohesión; generando material suelto de fácil remoción.

Además, se presentan conglomerados polimícticos intercalados con areniscas arcillosas poco consolidadas de la Formación Moquegua, en una matriz areno-limosa, sobre las cuales se generan principalmente caída de rocas – derrumbe. Del mismo modo en el sector se aprecian depósitos coluviales y antropogénicos.

En inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, la pendiente de los terrenos varía desde llano a suavemente inclinado ($<1^\circ - 5^\circ$) principalmente en el terraplén, moderado a fuertemente inclinado ($5^\circ - 25^\circ$) en las laderas, las partes altas presentan pendientes fuertes a muy fuerte ($25^\circ - 35^\circ$), y en el corte de talud para el terraplén se tiene un cambio abrupto a terreno escarpado ($> 45^\circ$).

La geomorfología en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta está conformada por colinas lomada en roca sedimentaria, colina y lomada disectada en roca sedimentaria, plataforma antrópica, piedemonte coluvial-deluvial antropizado, montículo de áridos y acantilado sedimentario antropizado.

En el extremo noreste de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, se presenta un corte de talud, con una longitud de 310 m y una altura que varía entre 5 a 20 m, con pendientes escarpadas ($>45^\circ$) donde se pueden generar derrumbes. Cabe mencionar que en su base se observan depósitos de derrumbes recientes.

El peligro por derrumbe está condicionado por la presencia de conglomerados en matriz areno-limosa poco consolidadas, intercaladas con areniscas arcillosas. También se tienen afloramientos de lutitas con capas de yesos, que se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, mencionadas, se concluye que la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta es considerado de **PELIGRO MEDIO A ALTO**, puede ser afectada por derrumbes, los cuales pueden ocurrir durante lluvias extraordinarias, así como frente a sismos.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes las tomen en cuenta y mitigar los posibles eventos que se puedan presentar. Una de las recomendaciones importantes es retirar la capa de yeso que aflora en el piso del terraplén en la zona de acogida, antes de cualquier ocupación de infraestructura.

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° 726-2024-GRA-GRGRD, emitido por el Gobierno Regional de Arequipa, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligro geológico por derrumbes en la zona de acogida del centro poblado Pie de La Cuesta, distrito Vitor, provincia Arequipa, departamento Arequipa

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó al ingeniero Yhon Soncco, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan a la zona de acogida del centro poblado Pie de La Cuesta. Los trabajos de campo se realizaron los días 04 y 05 de noviembre del 2024.

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 del sector, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografía, 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 del gobierno regional de Arequipa 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 al que puede estar expuesta la zona de acogida del centro poblado Pie de La Cuesta; (derrumbe) evento que podría comprometer la seguridad física de la población.
- b) Determinar los factores que condicionan la ocurrencia de derrumbes en la zona de acogida del centro poblado de Pie de La Cuesta
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

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 N° 81, 286 p., 13 mapas. Uno de los productos de este trabajo es el mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa (SMM), donde la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, se encuentra en Susceptibilidad Alta.

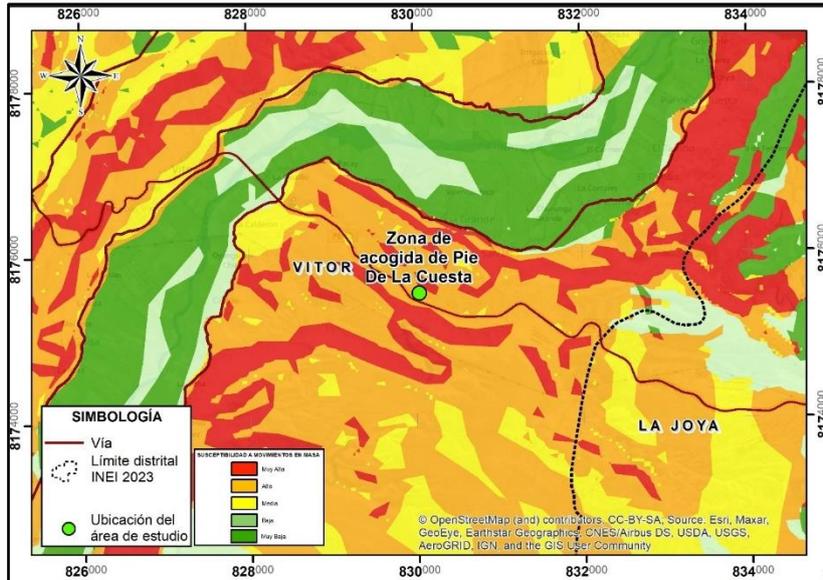


Figura 1. Susceptibilidad a los movimientos en masa. Fuente: INGEMMET.

b) INGEMMET. Boletín N° 24, Serie A, Hojas 33-s: Carta Geológica Nacional “Geología del cuadrángulo de Arequipa a escala 1:100 000” (Vargas, L., 1970). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde en gran parte a la Formación Moquegua.

1.2.1. Ubicación

El sector Pie de La Cuesta, se encuentra ubicado en el distrito de Vitor, provincia Arequipa, departamento de Arequipa (Figura 2), cuenta con las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S):

Cuadro 1. Coordenadas de área evaluado en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.

Localidad	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
Suni	189364.00	8175824.00	-16.479150°	-71.909349°



Figura 2. Vista de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.

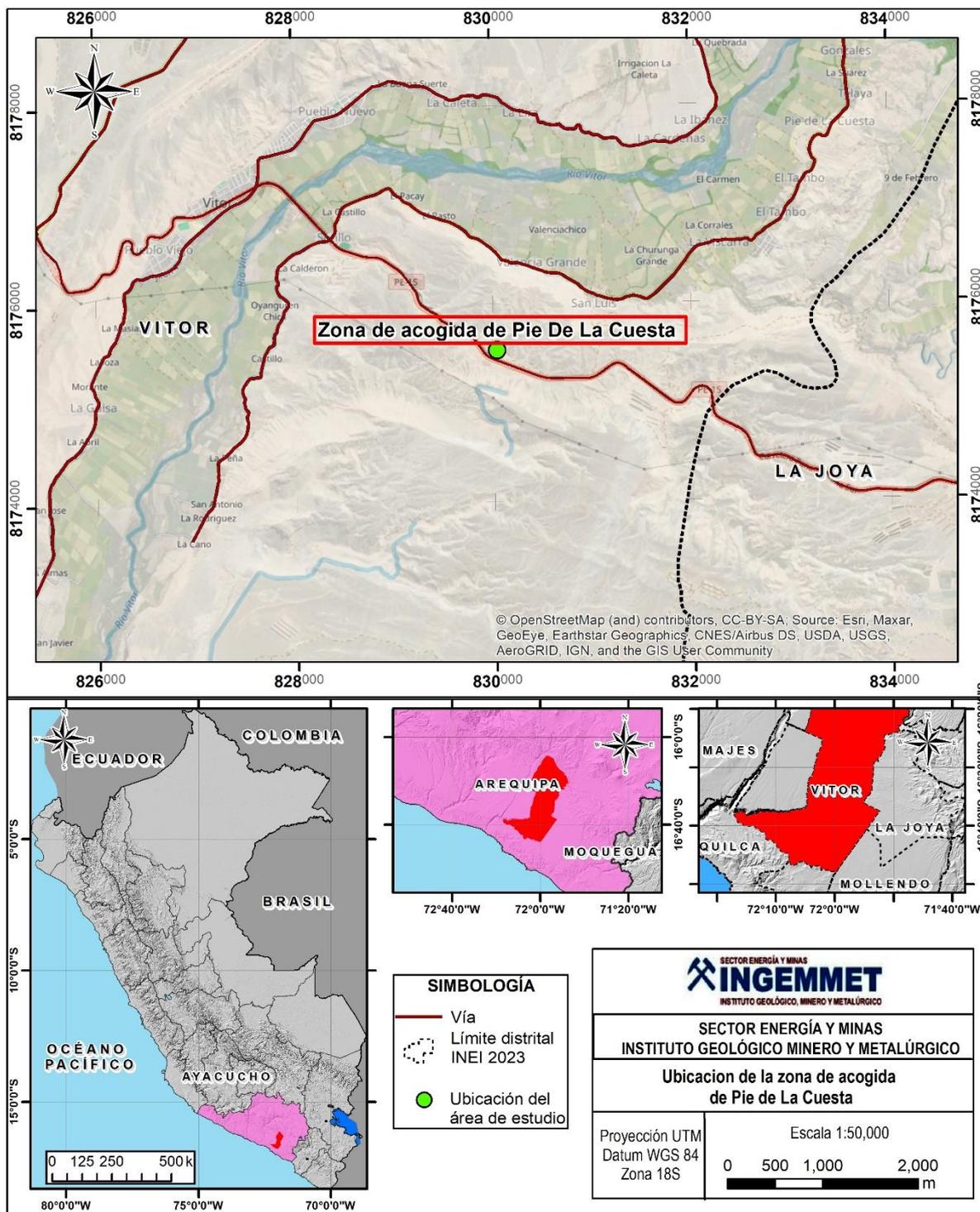


Figura 3. Ubicación del área de evaluación en el centro poblado de Suni

El acceso se realizó por vía terrestre partiendo desde Arequipa mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Zona de acogida del sector Pie de La Cuesta	Asfaltada	65	1 h 20 min

1.2.2. Clima y precipitación

La zona de acogida del sector Pie de La Cuesta 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 °C a 31 °C y mínimas entre 3 °C y 21 °C.

Las precipitaciones totales mensuales en milímetros, distribuidas a lo largo del período 1965-2015, según datos pluviométricos de la estación meteorológica convencional La Joya (SENAMHI), tienen una precipitación máxima de hasta 18.5 mm en diciembre del año 1986 (figura 4). Estos datos enfatizan que las lluvias más intensas ocurren entre diciembre y marzo. La Figura 4 permite examinar con qué frecuencia se producen anomalías en las lluvias que provocan la erosión del suelo.

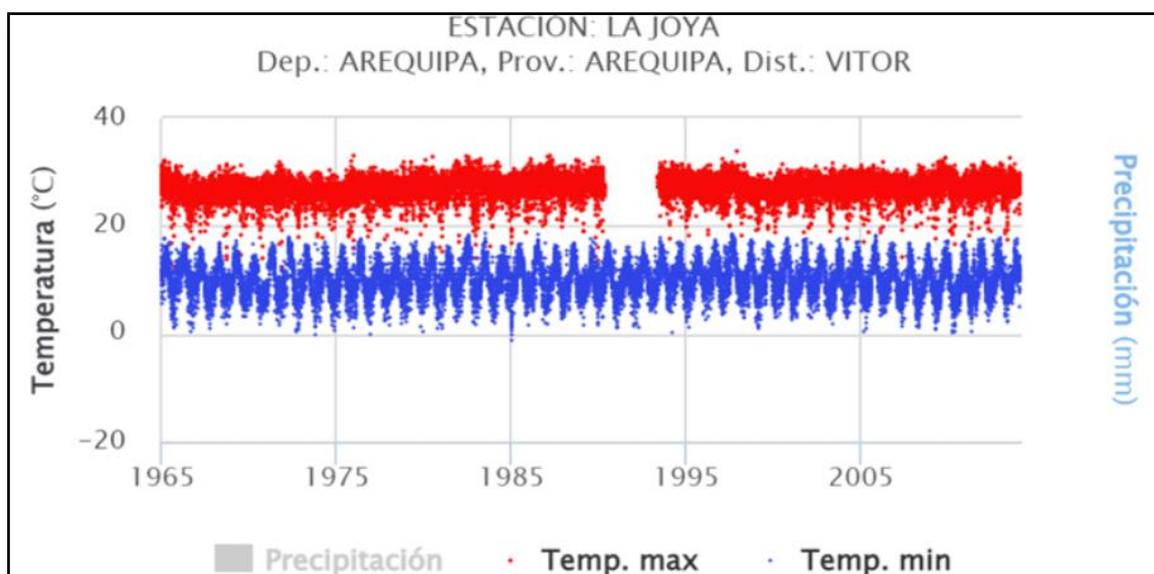


Figura 4. Histograma de temperaturas máximas y mínimas diarias – Estación La Joya, distribuidas a lo largo del periodo 1965 - 2015. Fuente: Estación meteorológica convencional La Joya - SENAMHI.

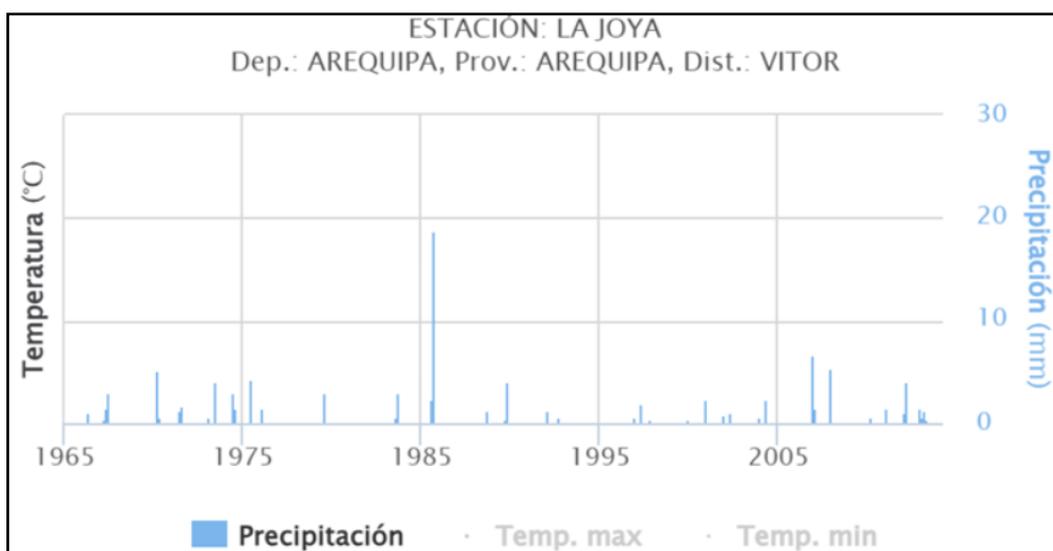


Figura 5. Histograma de precipitaciones totales mensuales en mm, estación La Joya: 1965 – 2015. Fuente: Estación meteorológica convencional La Joya - SENAMHI.

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 rocas: 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 alguno 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 (Hung 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 en 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.

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.

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 alcanza la 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, 1970).

Se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo, para definir unidades cuaternarias.

3.1. Unidades litoestratigráficas

3.1.1. Formación Sotillo (Pp-so)

Esta Formación geológica está compuesta por lutitas verde claras y marrón rojizas, arcillosas y en parte bentoníticas. Son rayables con la uña y suaves al tacto. Se intercalan con capas de greda rojiza, algo tufácea 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 a esta unidad.

El contenido de venillas de yeso en las rocas lo hace muy inestable al sector, pues el yeso al contacto con el agua se hidrata, lo que ocasiona un aumento de su volumen. Este aumento de volumen puede provocar tensiones en las rocas que contienen yeso, lo que puede provocar su inestabilidad. Las tensiones pueden causar que las rocas se agrieten y/o se desmoronen, lo que puede provocar derrumbes.

En la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, las lutitas pardas claras y marrón rojizas intercaladas con capas de yesos se encuentran moderadamente meteorizadas con estructuras medianamente fracturadas, con espaciamentos de hasta 2 mm.

En el área evaluada también se ha identificado que es sustrato está conformado por un nivel de yeso de más de 1 m de potencia.

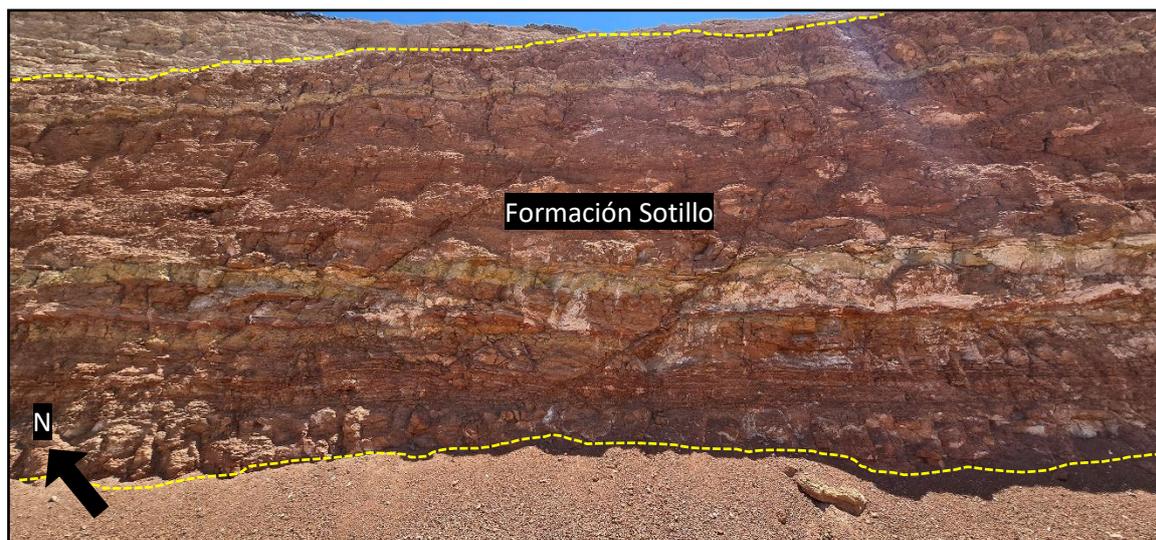


Figura 6. Sustrato rocoso de la Formación Sotillo.



Figura 7. Sustrato conformado por niveles de Yeso.

3.1.2. Formación Moquegua (Po-mo)

Está conformada por conglomerados arenosos, no consolidados, cuyos elementos se encuentran en una matriz arenosa y areno-tufácea. Está constituida por clastos de granito, granodiorita, areniscas y lavas. Dentro del conglomerado existen lentes de lapilli, cenizas y tufos retrabajados que hacia la parte superior cada vez se hacen menos persistentes. En las partes altas se distingue rodados erráticos redondeados y sub-redondeados de rocas mayormente volcánicas con el típico barniz del desierto (Vargas, 1970).

En la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, la Formación Moquegua está compuesta por rocas poco consolidadas, principalmente conglomerados polimícticos redondeados a subredondeados con bloques (35%) de hasta 40 centímetros, gravas (45%) en matriz areno-limosa (20%), intercaladas con areniscas arcillosas en proceso de litificación. Estas rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y tienen estructuras poco fracturadas. Estos afloramientos rocosos se encuentran en la cima de las colinas y lomadas que se encuentran hacia el norte de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.



Figura 8. Sustrato rocoso de la Formación Moquegua.

3.1.3. Depósito coluvial 1 y 2 (Qh-col)

Estos depósitos en el sector Villa San Luis se encuentran en las laderas de lomadas y colinas. Están compuestos por fragmentos de rocas polimícticas redondeadas a subredondeadas conformados 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), los cuales van desde bloques (40%), gravas (40%), dentro de una matriz areno limoso (20%). Estos depósitos son producto de caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos. Se encuentra poco consolidado.

En el área de estudio, estas unidades se formaron por procesos de remoción antrópica, por acumulación de material de desmonte, las cuales son arrojadas a zonas de pendiente.

3.1.4. Depósitos Antropógenos 1 y 2 (Q-ant)

Están constituidos por depósitos generados por el hombre sin intervención de procesos de transformación industrial: ruinas desechos, coprolitos; construcciones civiles (terraplenes, diques de presas, enrocados, espigones, etc.).

En la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta estos depósitos corresponden a terraplenes generados con fines de habilitación de espacios para vivienda y otros como canteras de material de agregados.

En el área de estudio se distinguen dos variedades, en ambos casos son generados sin un proceso de transformación industrial, formando terraplenes y montículos de tierra. Los cuales son no consolidados, de fácil remoción.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

A inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, la pendiente de los terrenos varía desde llana a suavemente inclinada ($<1^\circ - 5^\circ$), moderada a fuertemente inclinada ($5^\circ - 25^\circ$), las partes altas de las laderas presentan pendientes fuertes a muy fuertes ($25^\circ - 35^\circ$), y en el corte de talud para el terraplén se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^\circ$).

Se elaboró un mapa de pendientes de terreno en base al modelo de elevación digital (DEM) de 15 cm, a partir de fotogrametría con dron (noviembre 2024). Anexo 1, mapa 2).

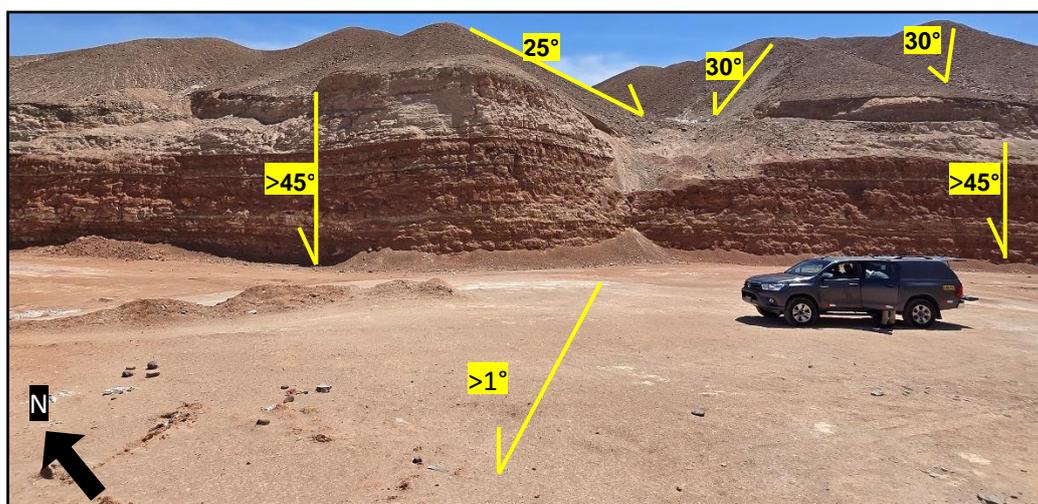


Figura 9. El texto de color amarillo muestra las distintas pendientes en inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.

Tabla 1. Clasificación de pendientes del terreno

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte o escarpado
>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 (escala 1:200.000); cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

Unidad de colina y lomada

Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs): Las colinas y lomadas en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta presentan cumbres subredondeadas

producto de la erosión. Se asocian a rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas y lutitas. Estos relieves presentan cimas suaves, las laderas tienen pendiente fuerte a muy fuerte (10° - 20° y 25° - 35°). Esta subunidad es susceptible a generar avalancha de detritos y derrumbes.

Colina y lomada disectada en roca sedimentaria (RCLD-rs): Las colinas y lomadas al norte de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, son relieves notablemente disectados por 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 Huanaputina 1600). Las laderas son de pendiente moderada a muy fuertes (15° - 35°) con cumbres subredondeadas. Además, exhiben surcos de erosión y un sistema dendrítico de drenaje.

Unidad antropogénica

Plataforma antrópica (Pla-ant) Esta subunidad comprende plataformas horizontales construidas por el hombre; generalmente consiste en cortes en laderas de colinas y montañas para la explanación del terreno o la construcción de terraplenes, para la posterior ocupación de viviendas. Representan las áreas planas en el área de estudio.

Acantilado sedimentario antropizado (AC-sant) Consiste en una pendiente de muy fuerte inclinación ($> 45^{\circ}$) a paredes subverticales, que resulta en el corte de ladera para crear el terraplén en la zona; se encuentra conformado principalmente por rocas de la Formación Sotillo.

Montículo de áridos (Mon-a) Esta subunidad está formada por montículos de acumulación de áridos en canteras que pueden ser representados en la escala de trabajo; su ubicación y dimensiones son temporales, dependiendo del ritmo de trabajo en su extracción.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd-ant): Son aquellas geoformas conformadas por un piedemonte cuya génesis es dudosa también, porque su origen es resultado de varios procesos superpuestos. En la zona de estudio se presenta interestratificación de horizontes conformados por materiales coluvio-deluviales antropizados.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por los ríos, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

En inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, se identificó peligro geológico de tipo movimientos en masa, de tipo caída “derrumbes”. Este proceso tiene como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelo, el drenaje superficial y la cobertura vegetal. Como factores “detonantes” se tiene las lluvias periódicas y extraordinarias que caen en el área; así como, la actividad sísmica.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007).

5.1.1. Derrumbes

El extremo noreste de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, presenta un corte de talud de más de 20 m, área desde donde se pueden generar caída de rocas (o detritos) derrumbes.

La zona de arranque presenta forma irregular y una longitud de 310 m, además presenta pendientes escarpadas a muy escarpadas $>45^\circ$. En cuya base se observa pequeños depósitos o acumulaciones de fragmentos individuales (detritos) o bloques derrumbados, condicionados por las características del substrato rocoso conglomerádico y lutáceo, poco consolidado y la presencia de yeso

El brusco cambio de pendiente en el sector Pie de La Cuesta, se refleja en el perfil topográfico (figura 12).

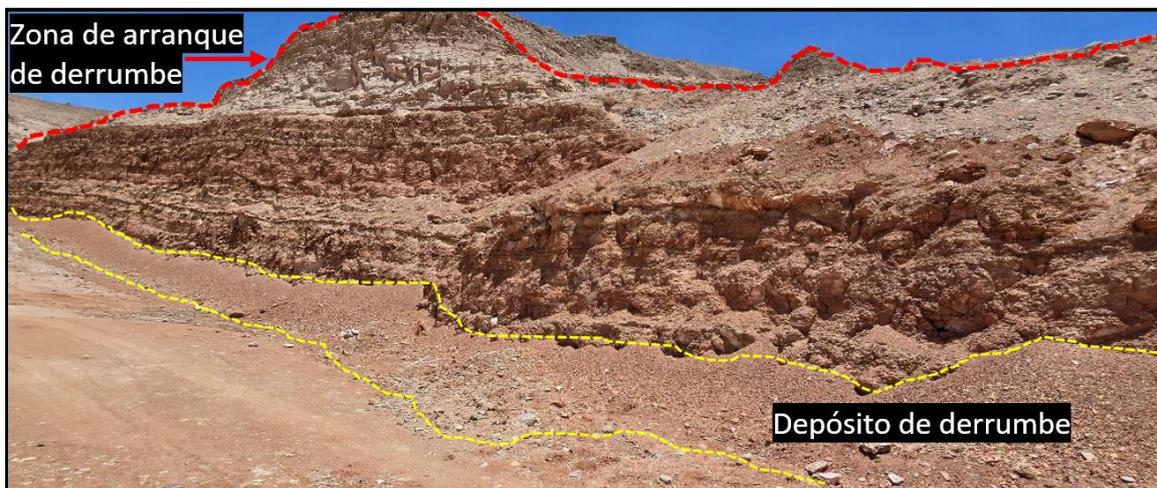


Figura 10. Depósito generado por caída de detritos y derrumbes pequeños a inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.

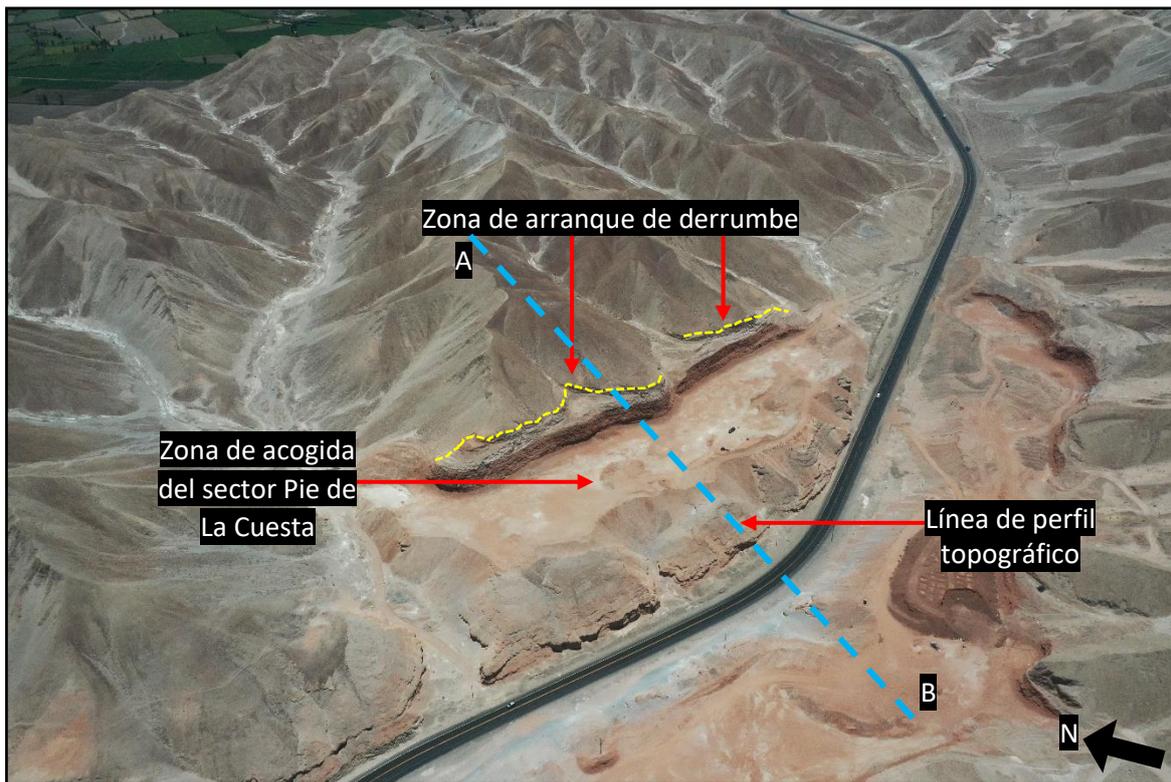


Figura 11. Zona de arranque de los derrumbes en inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.



Figura 12. Perfil topográfico de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.

5.2. Factores condicionantes

- **Litológicos.** Presencia de rocas poco consolidadas de conglomerados en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas que se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. El conglomerado es no consolidado, y por estar conformado por una matriz areno-limosa, es susceptible a la erosión por el agua de lluvia. 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, lo hace muy inestable, pues al contacto con el agua se llega a saturar, por lo cual la roca pierde cohesión. Esto puede causar que las rocas se agrieten y se debiliten, lo que aumenta la probabilidad de derrumbes.

- **Geomorfológico.** Las pendientes de las laderas que poseen pendientes desde fuertes a muy fuerte (25° - 35°), y en el corte de talud para el terraplén se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^{\circ}$).

5.3. Factores desencadenantes

- Lluvias excepcionales, con precipitaciones de hasta 18.5 mm, como los ocurridos en diciembre del año 1986. Las precipitaciones son el principal factor que desencadena los movimientos en masa en el área evaluado. Estas saturan el suelo, lo que reduce su capacidad de soporte y aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa. Además, estos son frecuentes en las zonas donde la vegetación es escasa, como se puede apreciar en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta. Son estas condiciones las que desencadenan el avance de caída de rocas (derrumbes).
- 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.
- 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 13. 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, se emite las siguientes conclusiones:

1. En la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta afloran lutitas intercaladas con capas de yesos, las cuales se encuentran medianamente meteorizadas con estructuras medianamente fracturadas. Además, se aprecia un nivel de aproximadamente 1 m de yeso en la base del terraplén, estas son muy inestables al contacto con el agua. Se aprecian conglomerados intercalados con areniscas arcillosas poco consolidadas, los cuales poseen una matriz areno-limosa y son de fácil erosión, por lo cual se generan depósitos cuaternarios coluviales y antropogénicos.
2. En inmediaciones de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, las pendientes de los terrenos varían desde: llanas a suavemente inclinadas ($<1^\circ - 5^\circ$); moderadas a fuertemente inclinadas ($5^\circ - 25^\circ$); las partes altas de las laderas con pendientes fuertes a muy fuertes ($25^\circ - 35^\circ$), y en el corte de talud para el terraplén se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^\circ$).
3. La geomorfología en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta está conformada por colinas y lomadas en roca sedimentaria, colinas y lomadas disectada en roca sedimentaria, plataforma antrópica, piedemonte coluvial-deluvial antropizado, montículo de áridos y acantilado sedimentario antropizado.
4. En el extremo Noreste de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, se presenta un corte de talud de más de 20 m, desde donde se pueden generar derrumbes, la zona de arranque de los derrumbes presenta una longitud de 310 m. y posee pendientes escarpadas $>45^\circ$. Cabe mencionar que en su base se observan pequeños depósitos de derrumbes recientes.
5. El peligro por derrumbe está condicionado por la presencia de depósitos poco consolidados de conglomerados en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas. También se tienen afloramientos de lutitas intercaladas con capas de yesos, que se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. El contenido de yeso, lo hace muy inestable, pues al contacto con el agua se llega a saturar, por lo cual la roca pierde cohesión. Esto puede causar que las rocas se agrieten y se debiliten, lo que aumenta la probabilidad de derrumbes.
6. Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta es considerado de **PELIGRO MEDIO A ALTO**, frente a caídas "derrumbe", los cuales pueden ocurrir durante lluvias excepcionales, así como frente a sismos.

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. Realizar estudios de suelos para determinar su capacidad portante, con la finalidad de fijar el tipo de cimentación de las futuras Infraestructuras.
2. Se sugiere restringir el crecimiento urbano hacia las laderas en la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta.
3. Se debe realizar un estudio de Evaluación de Riesgos de Desastres (EVAR).
4. Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar estudios geotécnicos y de mecánica de suelos.
5. Instalar barreras de protección frente a derrumbes que son un grupo de medidas de mitigación diseñadas para detener o controlar el derrumbe a medida que ocurren. Se detalla en el (anexo N°2)
6. Retirar la capa de yeso que aflora en el piso del terraplén de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, antes de cualquier ocupación de infraestructura.



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



Ing. **BILBERTO ZAVALA CARRIÓN**
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

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

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

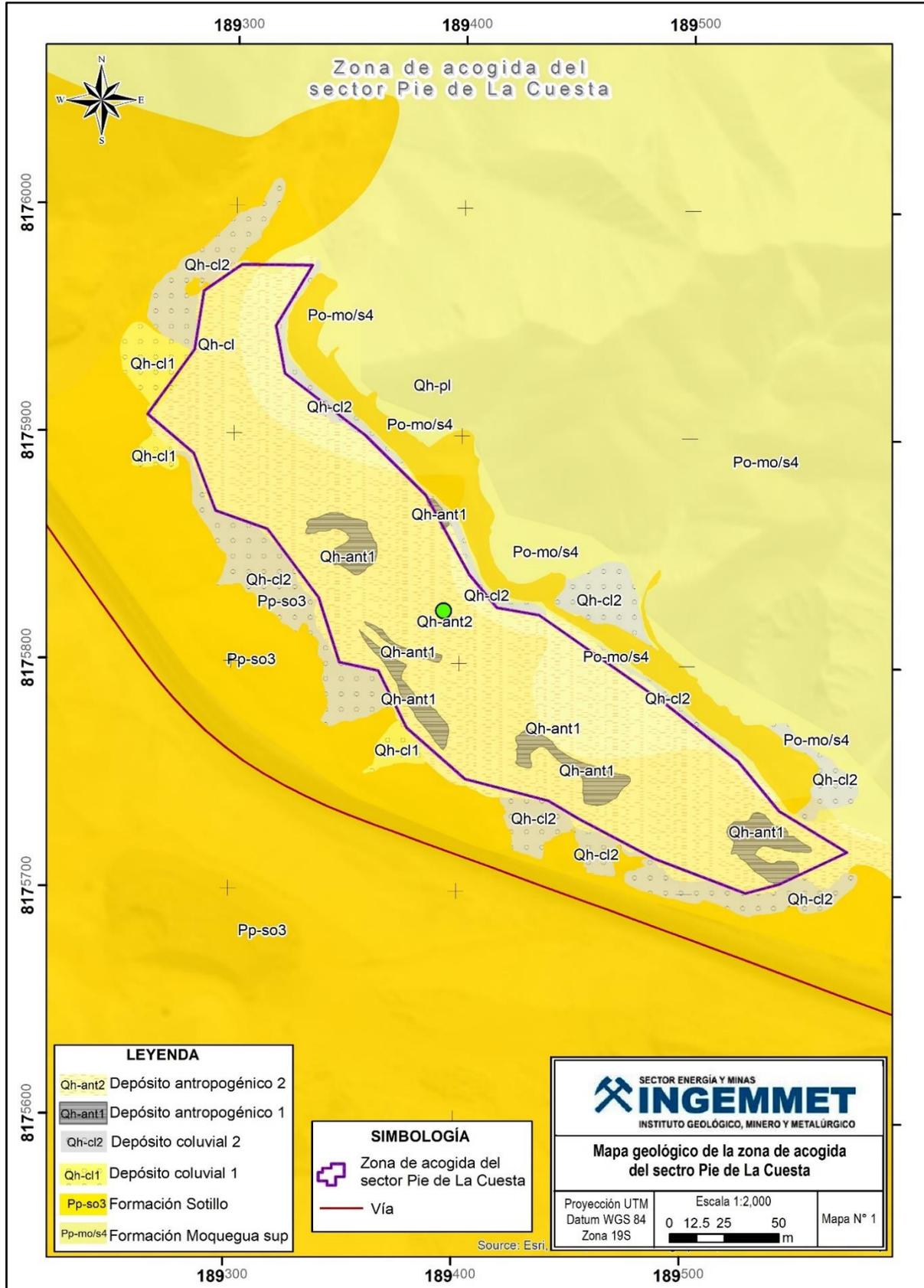
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Departamento Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Vargas, L. (1970). Geología del cuadrángulo de Arequipa. Lima, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, Boletín N°24, Serie A, Hojas 33-s : Carta Geológica Nacional (Escala 1:100000) <https://hdl.handle.net/20.500.12544/142.1:100000>, 64p.

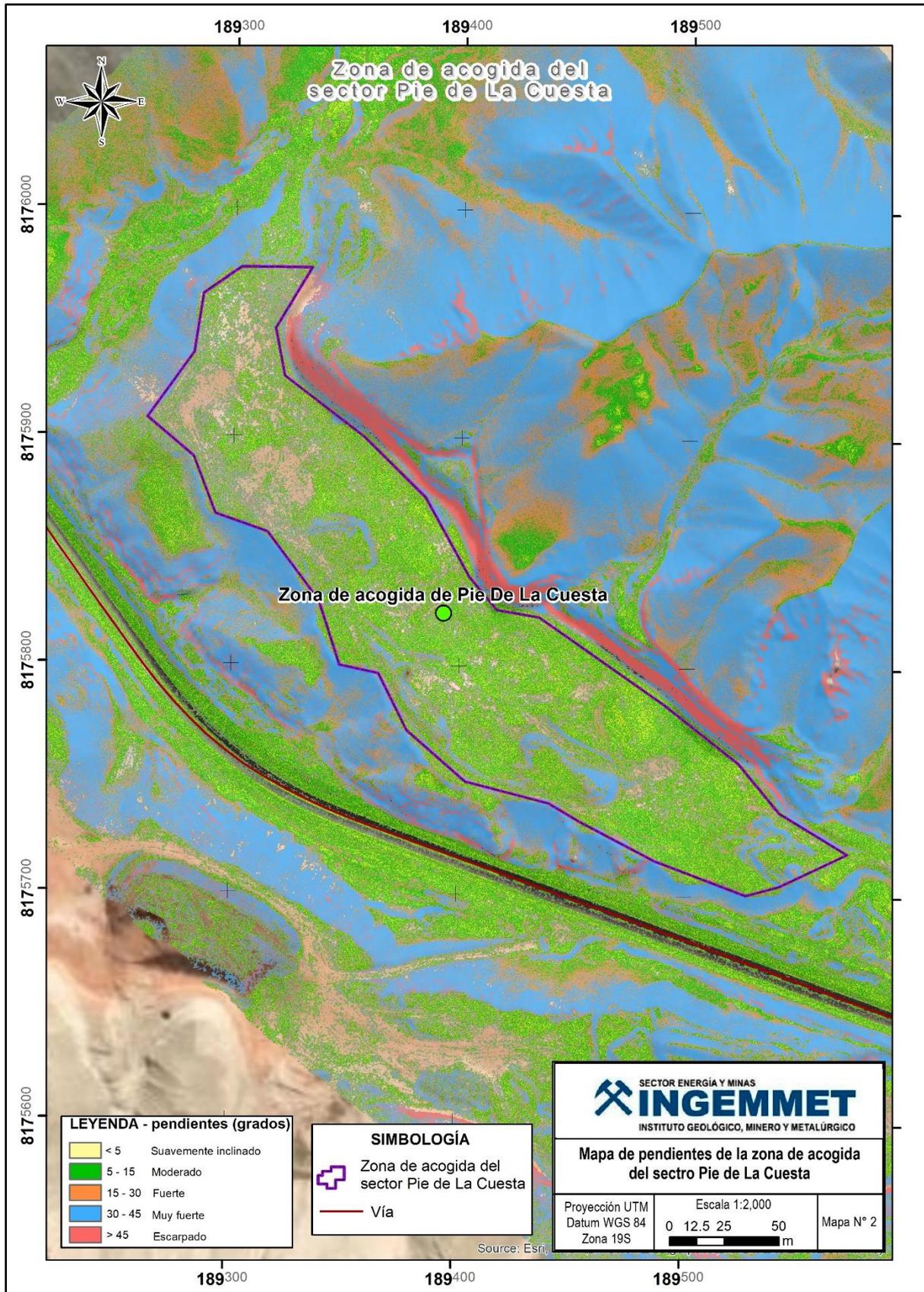
Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 176, p. 9-33

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

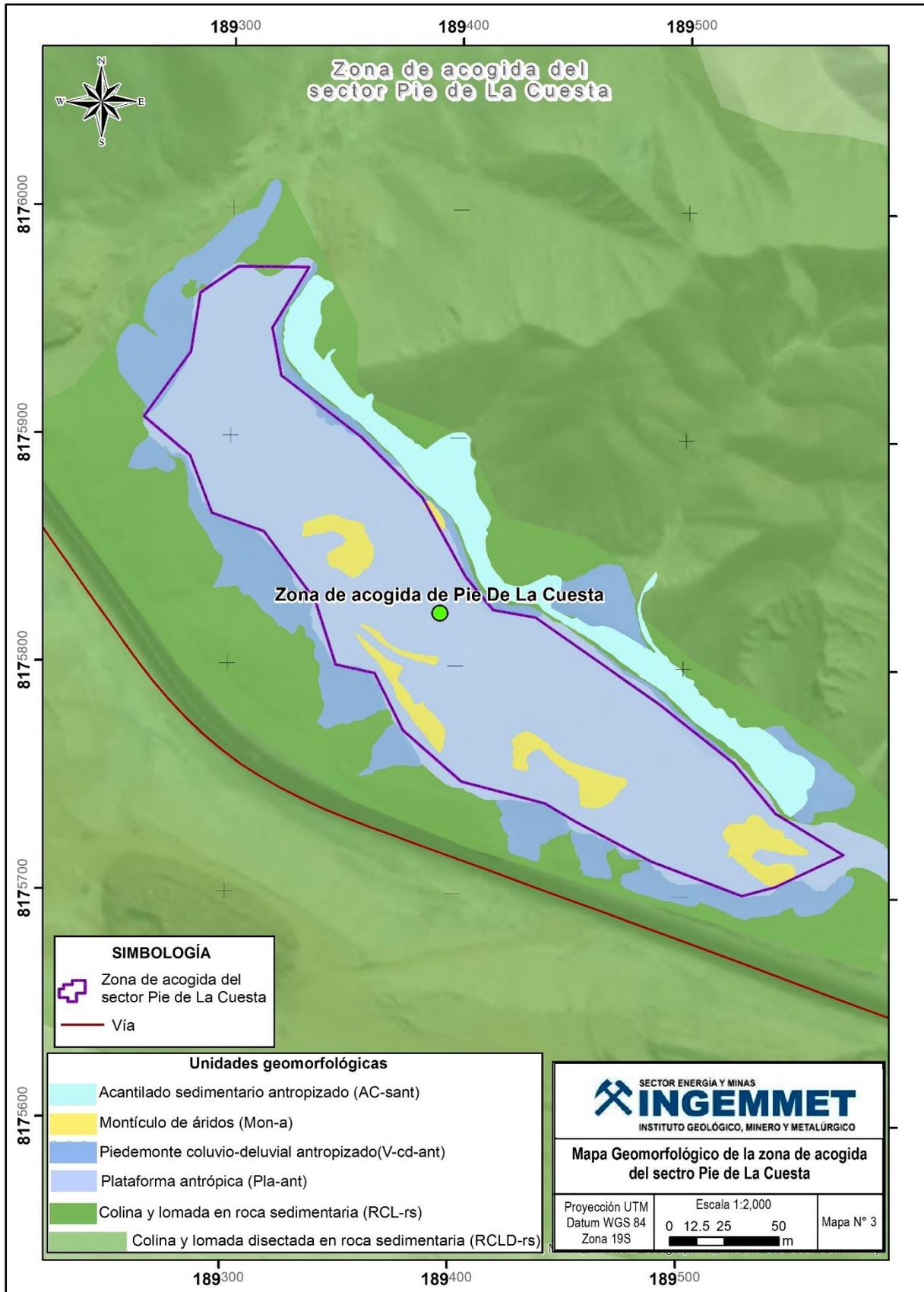
ANEXO 1 MAPAS



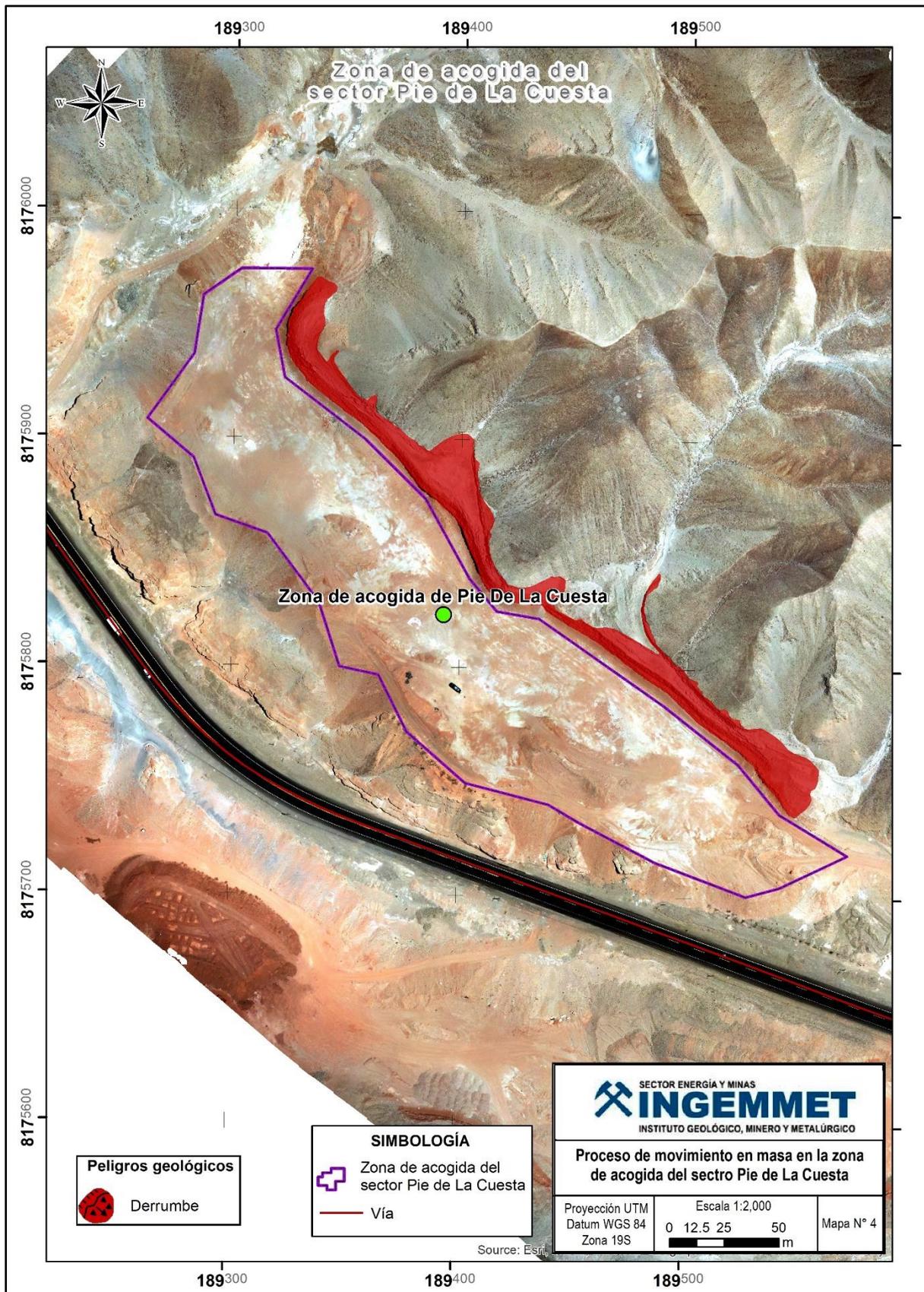
Mapa N°1. Geología de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta. Tomado y modificado del mapa geológico del cuadrángulo Arequipa 33-3 (Vargas, 1970).



Mapa N°2. Pendiente de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta, elaborado a partir de un modelo digital de elevaciones (DEM – noviembre 2024) de 20 cm de resolución. Elaboración propia.



Mapa N°3. Geomorfología de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta. Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.



Mapa N°4. Procesos de movimientos en masa de la zona de acogida del sector Pie de La Cuesta. Elaboración propia.

ANEXO 2 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACION

Para disminuir los daños por caída de rocas o detritos y derrumbes, son necesarios aplicar una de las siguientes medidas:

- Instalar barreras dinámicas de protección frente a la caída de rocas que son un grupo de medidas de mitigación diseñadas para detener o controlar la caída de rocas a medida que ocurren. Por lo general, se construyen con postes de acero y una red flexible soportada por un cable metálico, (figura 14).
- Construir muros de contención para mitigar los efectos de los derrumbes y caída de detritos (figura 15).



Figura 14. Ejemplo de barreras dinámicas de protección frente a la caída de rocas.



Figura 15. Ejemplo de muros de contención para los derrumbes y sujeción de la 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 16).

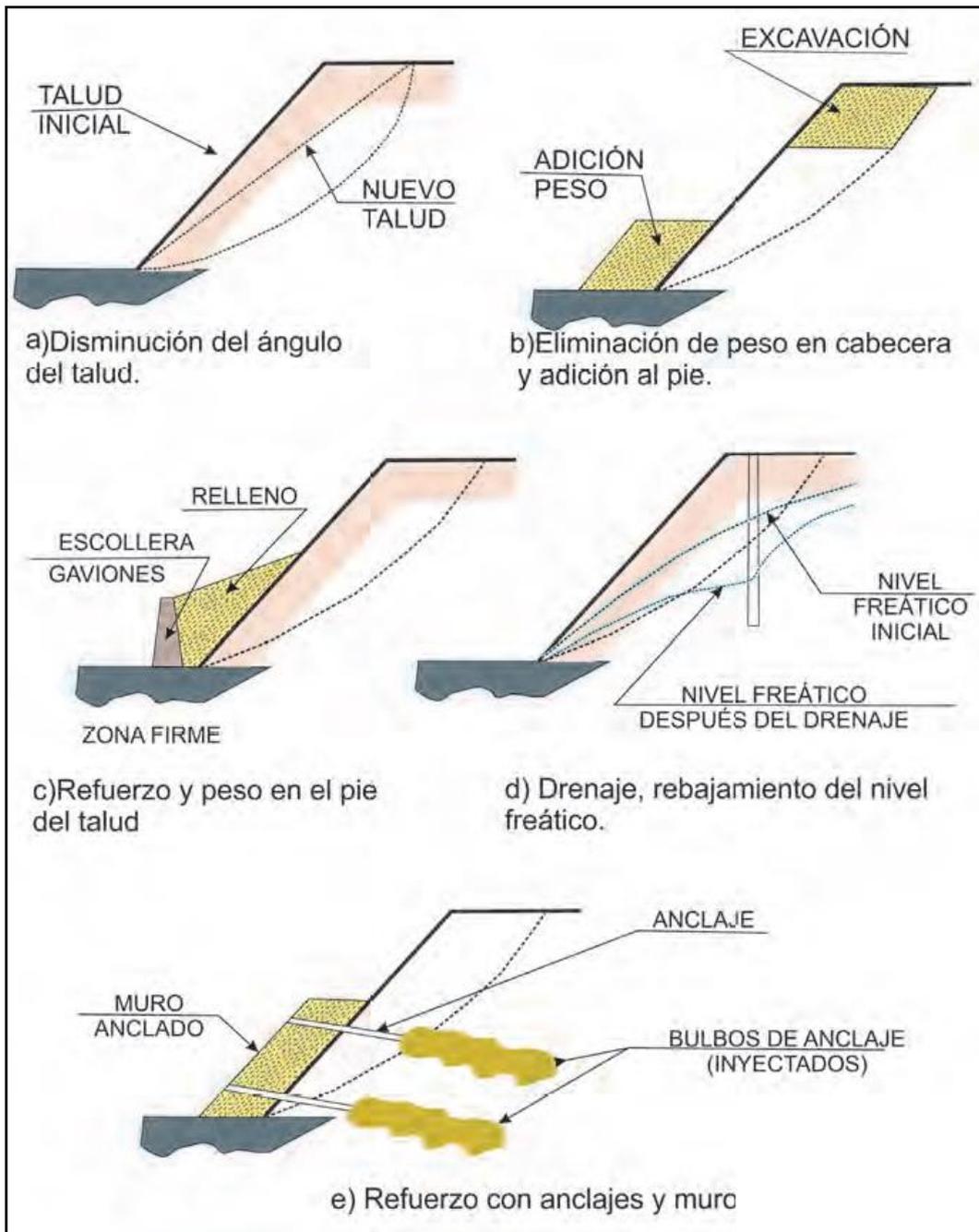


Figura 16. Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes, (Vilches, 2021)

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 17), etc. Mediante este tipo de corrección, se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, y se obtiene una nueva configuración más estable.

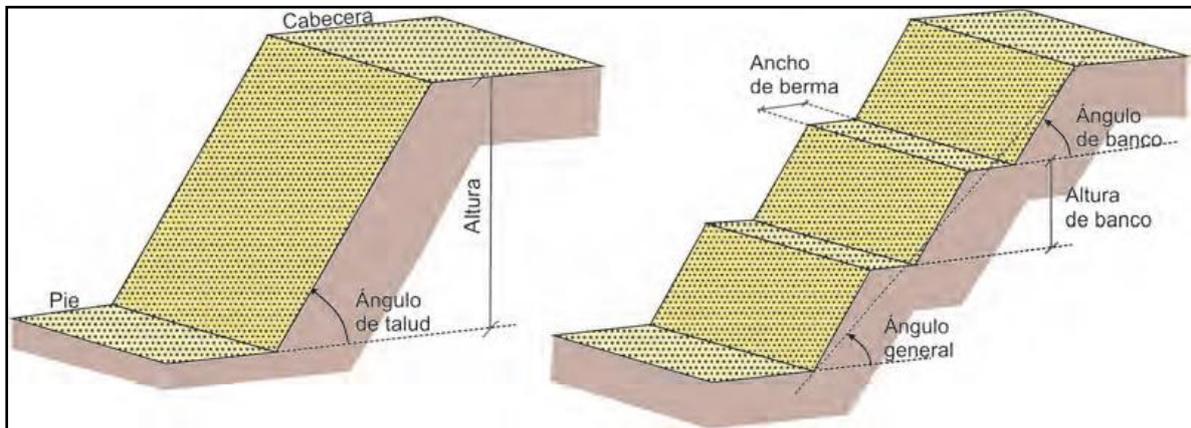


Figura 17. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).