

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7583

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN EL SECTOR TACA

Departamento: Arequipa
Provincia: Arequipa
Distrito: Vitor



DICIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN EL SECTOR DE TACA

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 flujo de detritos (huaico) en el sector de Taca. Distrito Vitor, Provincia Arequipa, Departamento Arequipa". INGEMMET, Informe Técnico N° A7583, 27P.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Accesibilidad	7
1.3.3. Clima y Precipitación pluvial	7
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	13
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
4.1 Pendiente del terreno	14
4.2 Unidades geomorfológicas	14
4.2.1 Unidades de carácter depositacional o agradacional	15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	16
5.2. Factores condicionantes	19
5.3. Factores desencadenantes	19
6. CONCLUSIONES	21
7. RECOMENDACIONES	22
BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXO 1: MAPAS	24

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el sector de Taca, distrito de Vitor, en la 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 área de estudio afloran rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcósicas y conglomerados no consolidados de la (Formación Sotillo); así mismo, se aprecian conos aluviales, sedimentos conglomerádicos, con intercalaciones de niveles volcánicos, depósitos no consolidados de la (Formación Moquegua superior). En el área también floran depósitos cuaternarios no consolidados, entre coluviales, proluviales y aluviales.

La localidad de Taca se ubica sobre un relieve modelado como vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, así mismo en sus proximidades se aprecian colina y lomada en roca sedimentaria; terraza aluvial y vertiente o piedemonte coluvio-deluvial.

La zona urbana de Taca podría ser afectada por un flujo de detritos (huaico); en sus inmediaciones también se identificaron sectores con proceso de avalancha de detritos y caída de rocas.

El peligro por flujo de detritos está condicionado por depósitos poco consolidados de conglomerados, coluviales, proluvial y aluviales. Geomorfológicamente el sector se ubica sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte coluvio-deluvial, con pendientes suavemente inclinadas a moderadas (5° - 15°). También está condicionado por los terrenos áridos y la acción eólica que acumula y rellena de material eólico en las partes bajas de las quebradas.

Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Taca es considerado de **Peligro Medio**, en la zona se pueden presentar flujos de detritos (huaicos), frente a lluvias excepcionales.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: Definir y canalizar los cauces de quebradas que descienden desde las partes alta, principalmente las que cruzan la zona urbana del sector Taca.

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 la solicitud de la municipalidad distrital de Vitor, según Oficio N°64-2023-JAHCH-MDV; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el distrito de Vitor, sector Taca.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos, cuyos trabajos de campo se realizaron en abril del 2024

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

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de 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) Tipificar y caracterizar el peligro geológico que se presentan en el sector Taca; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población y vías de comunicación.
- 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 (2023). Evaluación de peligros geológicos en el sector Villa San Luis, distrito Vitor, provincia Arequipa, departamento Arequipa. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7433, 31 p. El autor identifica procesos de movimientos en masa de tipo, avalancha de detritos y derrumbes, el sector se ubica en el mismo valle, aguas arriba del sector Taca.
- 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 Sotillo.

- c) INGEMMET. Boletín N° 81, Serie C: “Peligro geológico en la región Arequipa a escala 1:500 000” (Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K., 2021). Uno de los productos de este trabajo es el mapa de Susceptibilidad a Movimientos en Masa (SMM), donde el sector Taca, se encuentra en susceptibilidad Media y Alta.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

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

Tabla 1. Coordenada del sector Taca.

Punto	UTM - WGS84 - Zona 19S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
Punto Central	184350	8172246	-16.510794°	-71.956755°

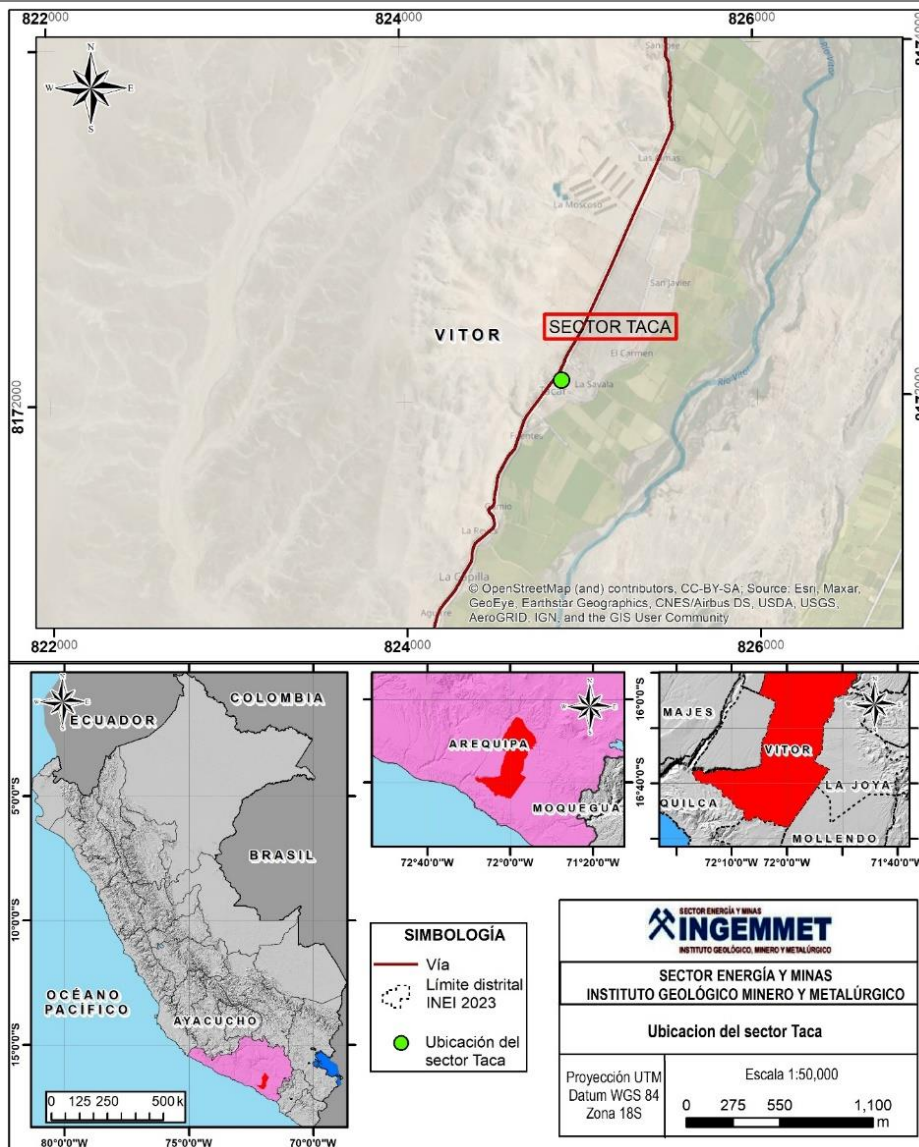


Figura 1. Ubicación del área evaluada en el distrito de Vitor.

1.3.2. Accesibilidad

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

Tabla 2. Ruta de acceso al anexo de Andamarca

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

1.3.3. Clima y Precipitación pluvial

El sector Taca 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.

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), de acuerdo con datos de las estaciones meteorológicas La Joya, los valores de precipitación se muestran en la figura 2 utilizando data en una ventana de tiempo de más de 25 años. Se tienen una precipitación máxima de hasta 18.5 mm/día en diciembre del año 1986.

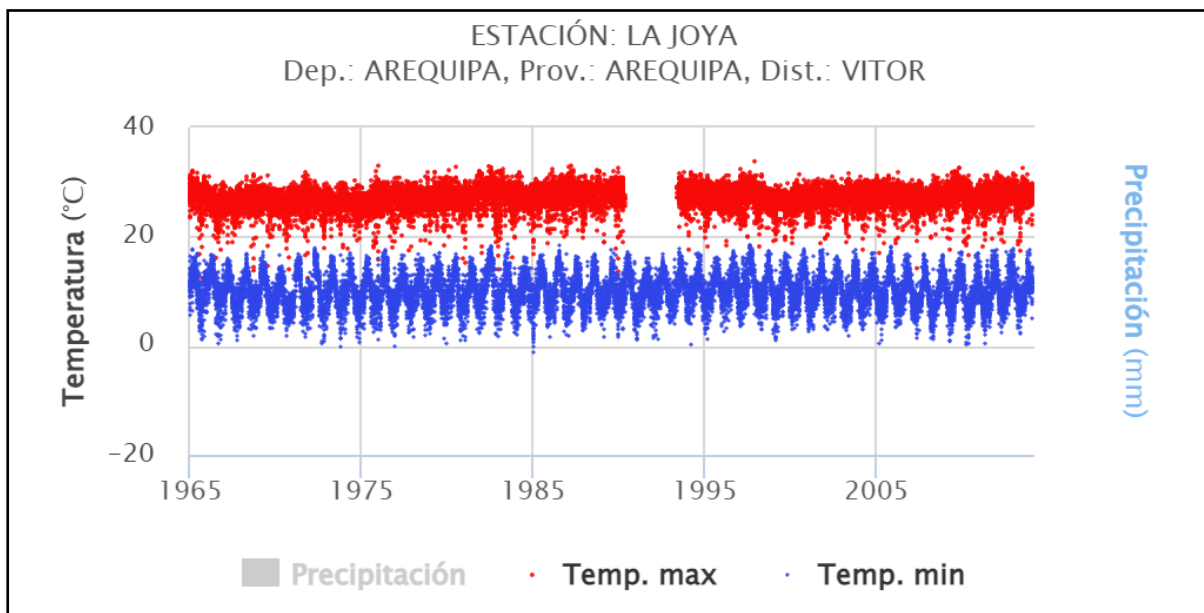


Figura 2. Precipitación diaria según la estación La Joya. Fuente: Senamhi.

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.

Arenamiento: Fenómeno que se produce en zonas que presentan morfología plano-ondulada de pampas, colinas bajas y planicies costaneras aledañas al litoral, con una dinámica eólica importante, donde la dirección, la velocidad del viento y la geomorfología del entorno favorecen la migración y acumulación de arenas, que muchas veces pueden afectar viviendas, terrenos de cultivo y obstruir tramos de carretera. Los arenamientos conforman mantos de arena, dunas, dunas trepadoras que se encuentran detenidas, cordón de dunas, etc.

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 (Hungt 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 (Hungt 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 no ha sufrido un 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 (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 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 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). Erosión de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos.

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 Vilchez, Luis, 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.

Además, con los trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo, se detalla los depósitos cuaternarios. (Anexo 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Formación Sotillo (Pp-so3): Es la unidad más antigua en la zona. Está **compuesta** por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas arcósicas y conglomerados formados por clastos volcánicos, areniscas cuarzosas e intrusivas, los depósitos son no consolidados, de fácil erosión. Además, 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, y por ende generar su inestabilidad. Las tensiones pueden causar que las rocas se agrieten y/o se desmoronen, lo que puede generar derrumbes y otros peligros geológicos.

Formación Moquegua superior (Po-mo/s4): Reposo en discordancia angular sobre la Formación Moquegua Inferior, litológicamente se trata de conos aluviales compuestos por sedimentos conglomerádicos, con intercalaciones de niveles volcánicos. (Marocco et al., 1984). Este miembro es fácilmente distinguido por sus tonalidades claras que contrastan con el Moquegua Inferior, por lo general sus capas tienen posición horizontal y en algunos casos muestran una ligera inclinación al suroeste. Esta formación está formada por bloques subredondeados, además de gravas arenas y limos, la cual se encuentra inconsolidada, no compacta, de fácil erosión. También se tienen paquetes de tobas volcánicas no litificadas.

Depósitos coluviales (Qh-cl): Esta unidad se encuentra en las laderas del sector Taca. Están compuestos por fragmentos de rocas polimícticas redondeadas a subredondeadas

conformado 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 (35%), gravas (45%), dentro de una matriz areno limoso (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, depositados en el fondo de las quebradas, presentándose poco consolidados. Se forman por corrientes temporales. La zona urbana de Taca se ubica sobre esta unidad.

Depósitos aluviales (Qh-al): Están localizados en el lecho del valle de Vitor. El tamaño de los elementos constituyentes varía desde bloques a arcillas, conformando depósitos con presencia de bloques, arenas y limos; los bloques son polimícticos envueltos en una matriz areno-arcillosa. Se presentan como terrazas donde se desarrollan las actividades agrícolas.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

La pendiente de los terrenos varía de suavemente inclinada a moderada ($5^\circ - 15^\circ$); en la parte alta de las laderas observan cambios del terreno a pendientes fuertes ($15^\circ - 25^\circ$), y donde se aprecia zonas de caída de rocas, generalmente las pendientes son muy escarpadas ($>45^\circ$). (figura 4).

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

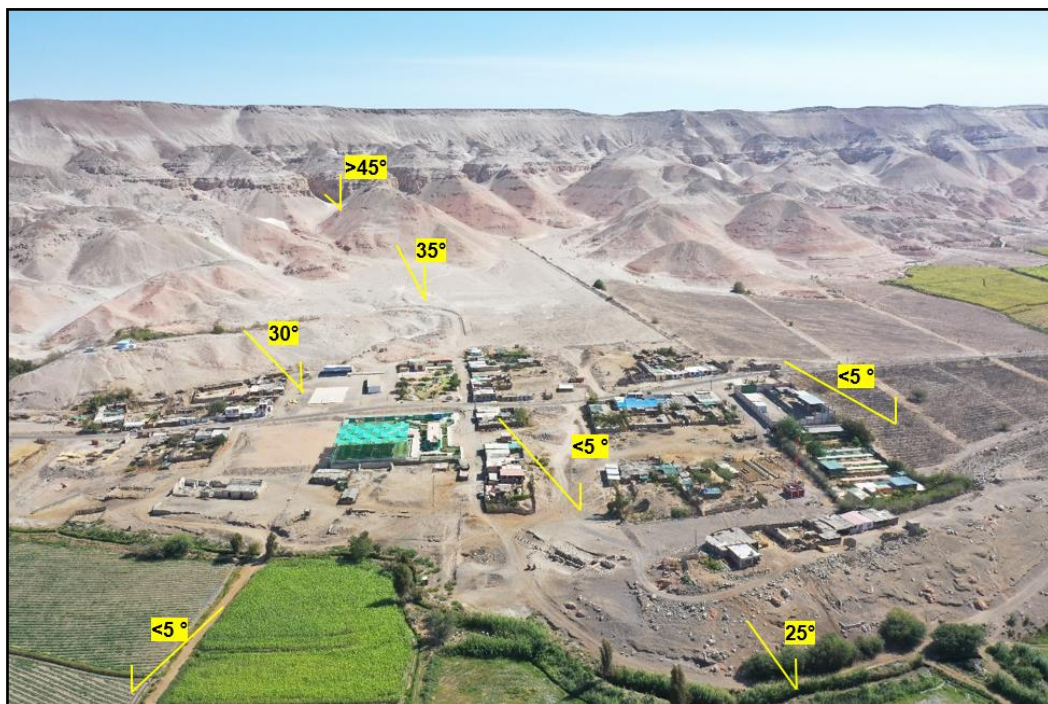


Figura 3. Pendientes en el sector Taca.

4.2 Unidades geomorfológicas

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

4.2.1 Unidades de carácter depositacional o agradacional

4.2.2.1 Unidad de colina y lomada

Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs): Las colinas y lomadas en el valle de Vitor presentan cumbres subredondeadas producto de la erosión. Son geoformas asociadas a rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas y lutitas. Estos relieves en el sector Taca presentan cimas suaves, y laderas con pendiente fuerte a muy fuerte (15°- 25°)

4.2.2.2 Unidad de terraza

Terraza aluvial (T-al): Las terrazas fluviales 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 Taca, sobre estos terrenos, se desarrollan extensas zonas de cultivos y redes viales.

4.2.2.3 Unidad de piedemonte

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Es una planicie al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de depósitos arrastrados por corrientes de agua estacionales y/o de carácter excepcional. En el área de estudio está representado por depósitos proluviales ubicados en la parte baja de la ladera derecha del valle de Vitor.

Vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd): Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019).

Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes (5°-25°). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el sector Taca corresponden a flujos del tipo avalancha de detritos y flujos de detritos; además de caída de rocas. 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 por el río Vitor, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa. Condicionados por la alternancia de rocas de diferente competencia, así como la presencia de fallas geológicas locales, anticlinales, sinclinales, inestabilizando las laderas rocosas y depósitos de eventos antiguos (Anexo 1).



Figura 4. 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 de Taca; se aprecian una serie de cicatrices de roturas, desde donde caen detritos, formando avalancha de detritos, que son acarreados por la erosión eólica. El substrato rocoso está conformado por depósitos no consolidados, de fácil erosión.

Estas avalanchas son activas y están compuestas por fragmentos de rocas y bloques redondeadas a subredondeadas, en un (35%), con tamaños máximos de hasta 0.35 metros; seguido de gravas (45%) dentro de una matriz areno limoso (20%), (figura 5). El material que conforma las avalanchas de detritos se presenta parcialmente saturado, y de poco espesor, por lo que al momento de desplazarse fue de forma rápida a extremadamente rápida, condicionado por las pendientes del terreno (muy fuertes a muy escarpadas, $>25^\circ$). Cabe resaltar, que estos procesos se producen mayormente durante los periodos de precipitaciones pluviales extremas.



Figura 5. Acumulación de detritos adosados en las laderas de las colinas y lomadas al norte del sector Taca, susceptibles de ser removidos como avalanchas de detritos con lluvias.

Los depósitos de avalanchas de detritos se mantienen adosados y de formas alargadas, hacia la parte baja se depositan con una geometría de abanico, conformado por cantos y gravas de composición heterogénea, además de arenas y limos. La zona de mayor extensión presenta una cicatriz irregular de 140 m, y un desnivel de 80 m.

Finalmente, estos materiales se acumulan en el cauce de las quebradas, conformando luego flujos de detritos, de gran volumen e incremento de poder destructivo.

Caída de rocas

Este tipo de procesos, son frecuentes en las laderas de las colinas del valle de Vitor. Cuyas laderas están conformadas por afloramientos poco consolidados, de conglomerados polimícticos redondeados a subredondeados con bloques de hasta 40 centímetros y gravas en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas en proceso de litificación, altamente meteorizadas y poco fracturadas (de la Formación Moquegua).

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

Finalmente, las pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$) de los frentes rocosos de este lugar, condicionan la caída por gravedad y por consiguiente la susceptibilidad alta a este tipo de movimiento en masa (figura 6). Las alturas desde donde caen las rocas van desde los 7 metros hasta los 23 metros, a lo largo de 1500 metros de longitud de arranque continua a lo largo de la cumbre de colina. Los bloques de rocas de estas rocas alcanzan dimensiones de hasta 3 metros.

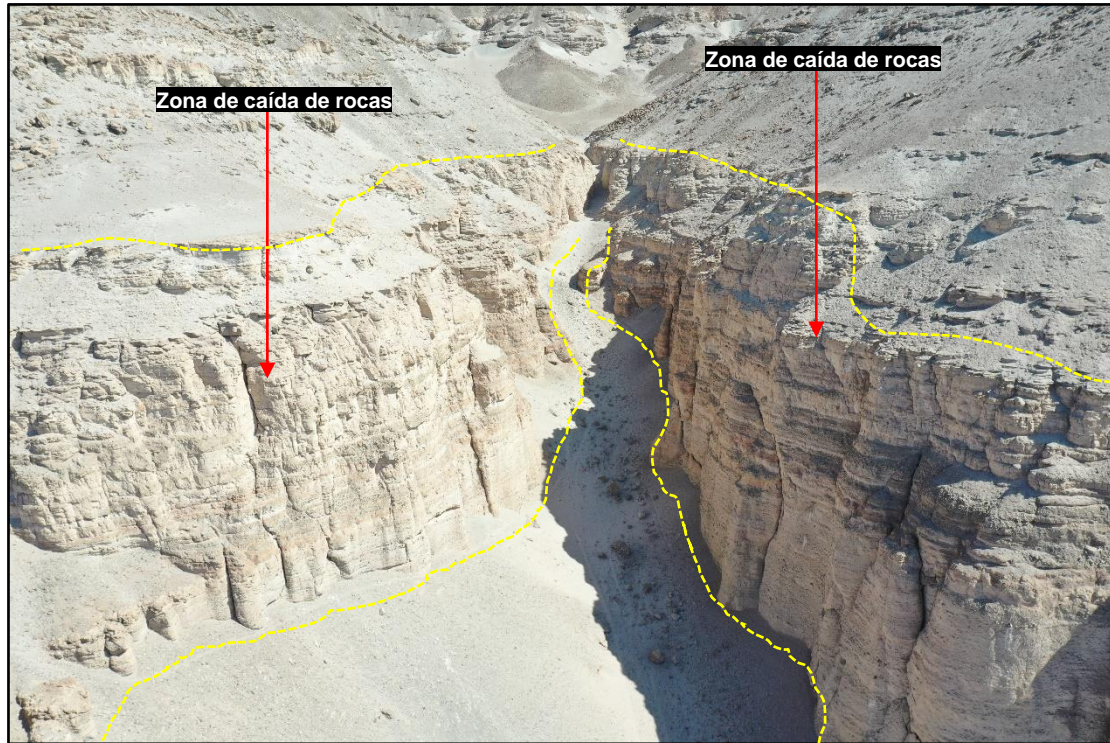


Figura 6. Zona de desprendimiento de rocas en el sector Taca.

Flujo de detritos

En la parte baja de las quebradas donde se acumulan los depósitos de avalanchas de detritos, caída de rocas y derrumbes, se aprecia abundante material suelto, disponible para la generación de flujo de detritos, frente a lluvias excepcionales.

En el punto UTM 183833 E, 8172411 S. Se aprecia un remanente de depósito de flujo de detritos (huaico), el cual está conformado por bloques (35%) con tamaños máximos de hasta 0.2 metros, gravas (50%) dentro de una matriz areno limoso (15%). Se han encontrado espesores máximos de hasta 0.30 metros.



Figura 7. Zona de flujos de detritos en la parta alta del sector Taca.



Figura 8. Flujos de detritos en la parte alta del sector Taca, apreciándose su canalización, y el espesor de hasta 30 cm en su cauce principal.

5.2. Factores condicionantes

- Litológicamente el sector presenta depósitos poco consolidados de conglomerados en matriz areno-limosa, intercaladas con areniscas arcillosas que se encuentran altamente meteorizadas. Además de depósitos cuaternarios no consolidados, depósitos coluviales, depósitos proluvial y depósitos aluviales. Ubicados en las partes bajas de las quebradas.
- Geomorfológicamente el sector se ubica sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte coluvio deluvial, con pendiente suavemente inclinada a moderada (5° - 15°).
- También están condicionado por los terrenos áridos y la acción eólica que acumula y rellena de material en las partes bajas de las quebradas.

5.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas y/o prolongadas Las precipitaciones son el principal factor que desencadena los movimientos en masa en Vitor. Estas saturan el suelo, lo que reduce su capacidad de soporte y aumenta la susceptibilidad a los movimientos en masa. Además, los movimientos en masa son más frecuentes en las zonas donde la vegetación es escasa, como se puede apreciar en las laderas de colinas del sector Taca. Son estas condiciones las que desencadenan el avance de derrumbes y avalanchas de detritos en el sector.
- Los sismos pueden acelerar y movilizar las estructuras internas del suelo, lo que puede desencadenar caídas de rocas, derrumbe y avalancha de detritos, que pueden afectar al sector Taca. En la zona el sismo del 2020, Según el 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 de todo el valle, afectando a las vías de comunicación.

- 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. Litológicamente en el área de estudio afloran rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, conformadas por areniscas y lutitas de color rojizo, areniscas y conglomerados no consolidados de la Formación Sotillo; así mismo, se aprecian sedimentos conglomerádicos, con intercalaciones de niveles volcánicos, depósitos no consolidados de la (Formación Moquegua superior). También afloran depósitos cuaternarios no consolidados, entre coluviales, proluviales y aluviales.
2. Geomorfológicamente en el sector evaluado se distinguen unidades de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial; a inmediaciones de Taca se aprecian colinas y lomadas en roca sedimentaria; terraza aluvial y laderas con vertientes coluvio-deluviales.
3. El sector Taca podría ser afectado por flujos de detritos (huaicos). En su zona urbana no se aprecia un cauce de quebrada definido, tampoco posee sistema de drenaje. Sin embargo, en las partes altas existe abundante material suelto, principalmente en los cauces de las quebradas, que provienen de avalancha de detritos y caída de rocas, susceptibles de ser removidos por lluvias excepcionales.
4. El peligro geológico está condicionado por depósitos poco consolidados de conglomerados, coluviales, proluvial y aluviales. Geomorfológicamente el sector se ubica sobre vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte coluvio deluvial, con pendientes suavemente inclinado a moderado (5° - 15°). También están condicionado por los terrenos áridos y la acción eólica que acumula y rellena de materia las partes bajas de las quebradas.
5. Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, el sector Taca es considerado de **Peligro Medio**, frente a la ocurrencia de flujos de detritos (huaicos), que pueden ocurrir durante lluvias excepcionales.


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 peligros geológicos.

1. Definir y canalizar los cauces de quebradas que descienden desde las partes alta, principalmente las que cruzan la zona urbana de Taca.
2. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura en área susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.



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



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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

EIRD/ONU (2004) Vivir con el riesgo. Informe mundial sobre iniciativas para la reducci3n de desastres versi3n 2004. Secretarí3 Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducci3n de Desastres, Naciones Unidas.

INGEMMET (2022). El mapa geol3gico integrado del Per3 versi3n 2022, es el resultado de la integraci3n de 1005 mapas geol3gicos escala 1:50 000, los cuales fueron realizados por cuadrantes de un 3rea promedio de 650 km².

Gonz3lez de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortu3o, L. y Oteo, C. Ingenierí3 Geol3gica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educaci3n, Madrid, pp 750.

Luque, G.; Pari, W. & Due3as, K. (2021) - Peligro geol3gico en la regi3n Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodin3mica e Ingenierí3 Geol3gica, 81, 300 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geol3gicos en la regi3n Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geol3gico Minero y Metal3rgico, 110 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2015>

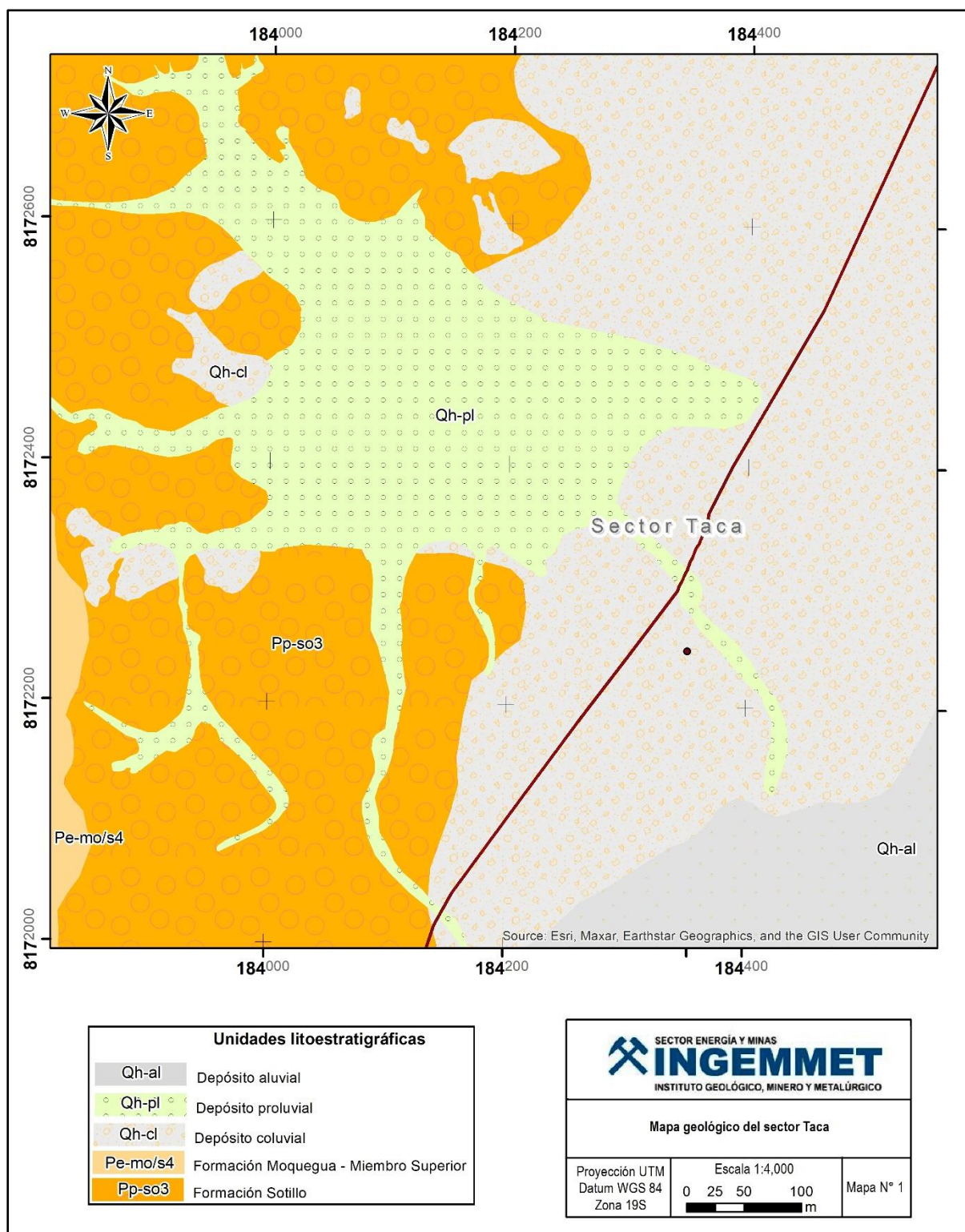
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la regi3n Andina: Una guí3 para la evaluaci3n de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicaci3n Geol3gica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

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

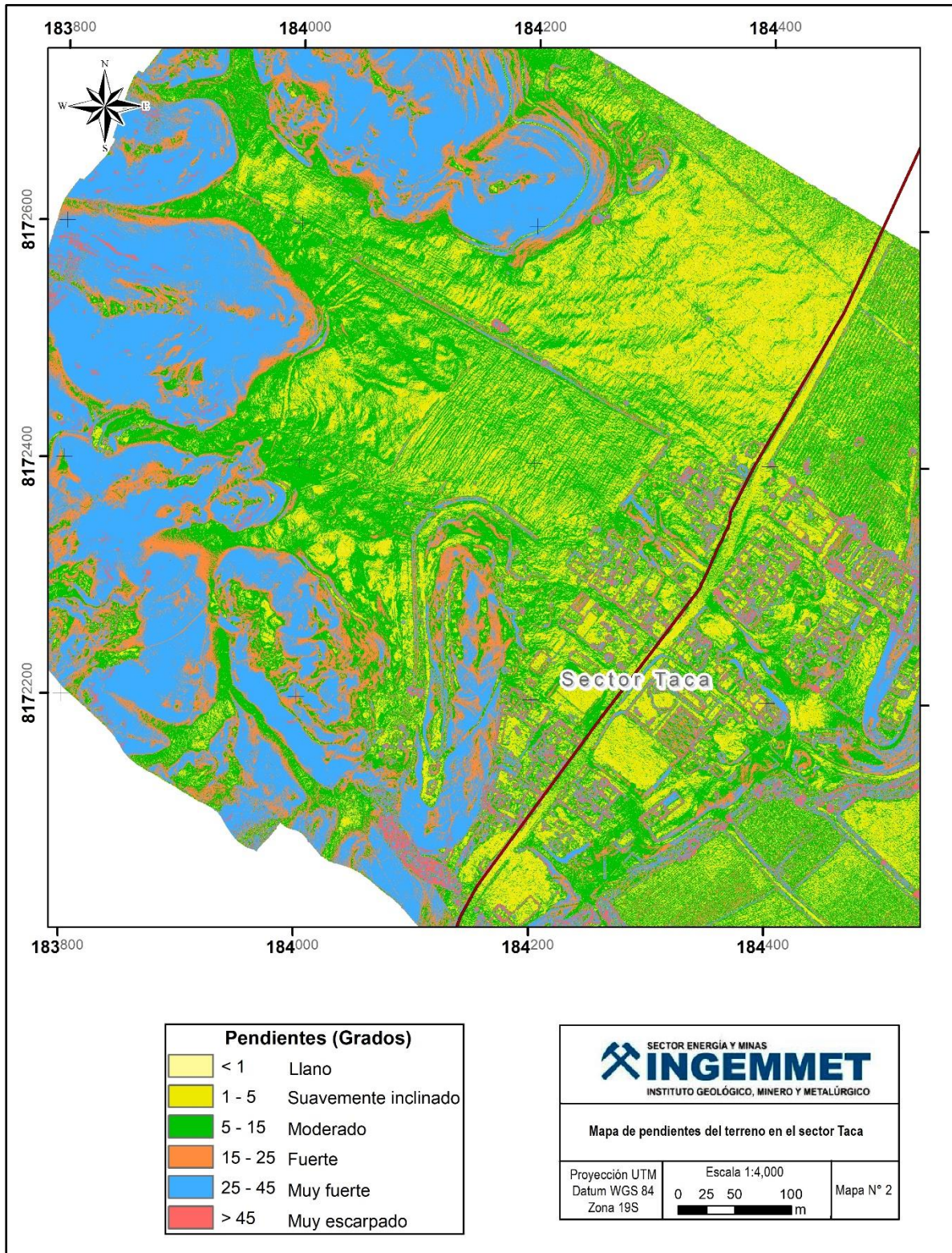
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafol3gicos y zonificaci3n fí3sica de tierras. Espa3a: Instituto Geogr3fico Agustín Codazi.

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

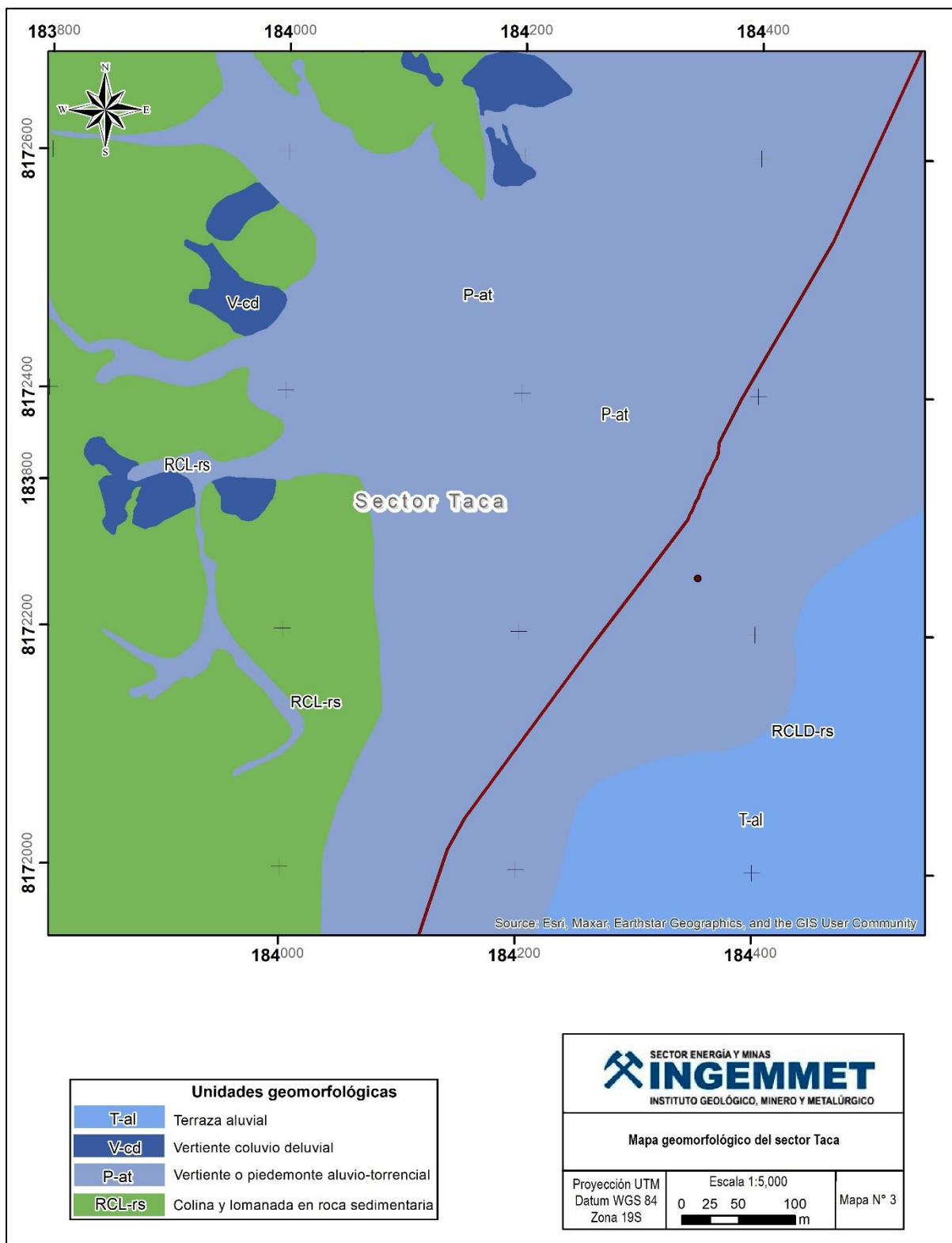
ANEXO 1: MAPAS



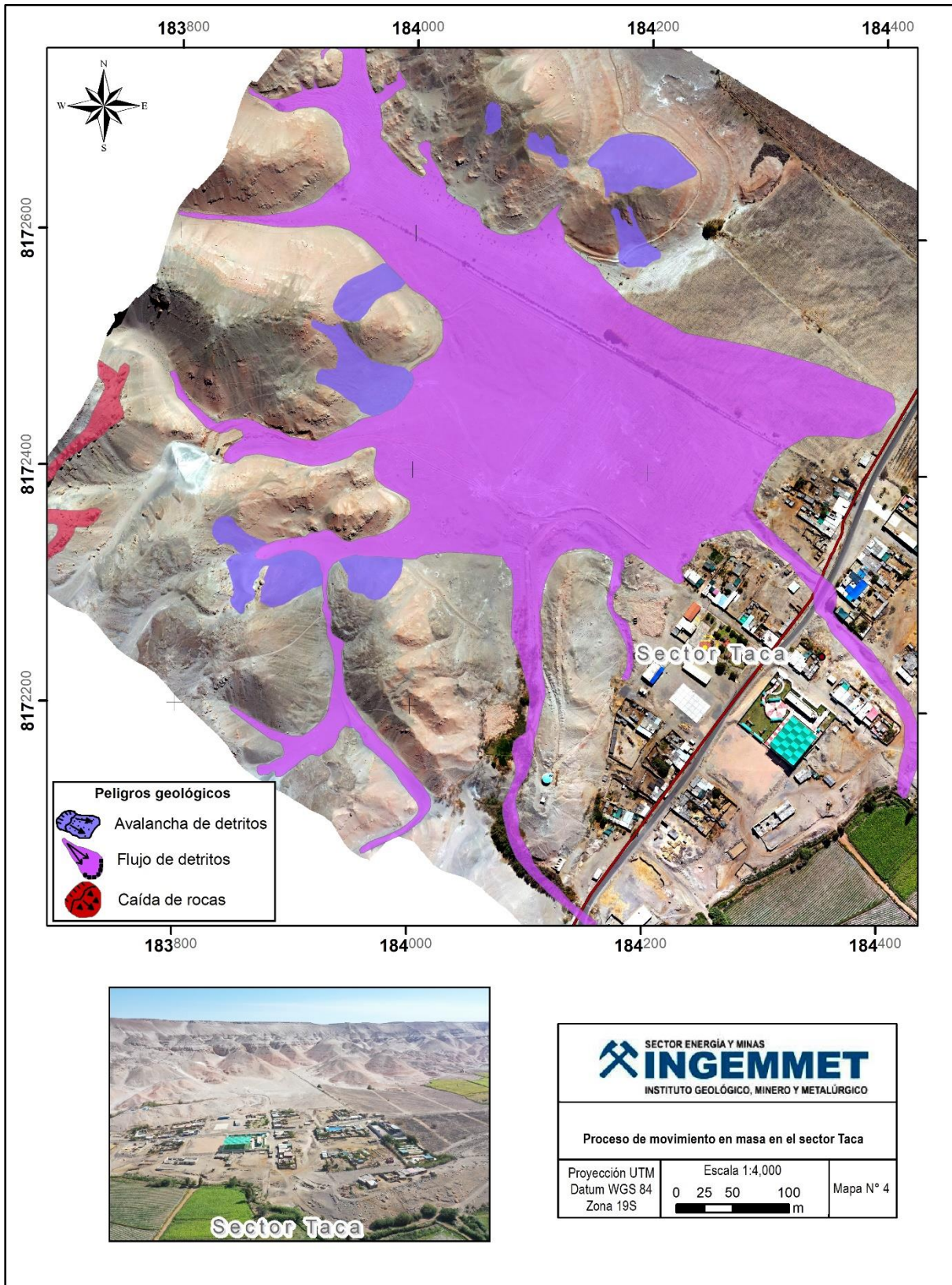
Mapa N°1. Geología del sector Taca: Tomado y modificado de Vargas, L. (1970), Geología del cuadrángulo de Arequipa (32-s-I) a escala 1: 100 000. Así como mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET, el cual es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000.



Mapa N°2. Pendientes del terreno en el sector Taca



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



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