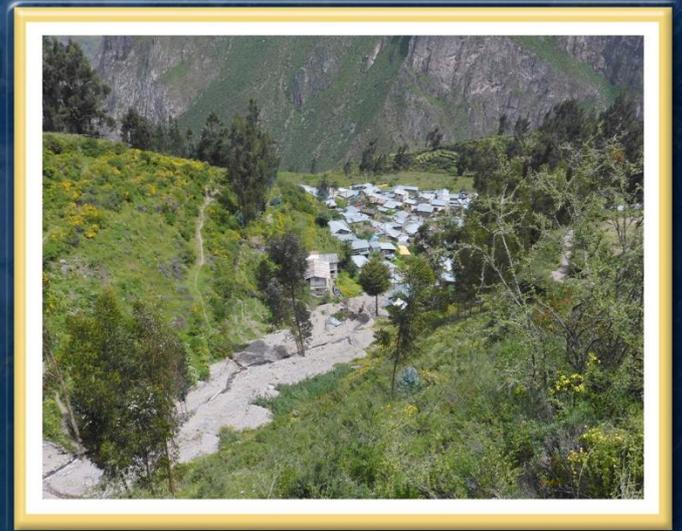
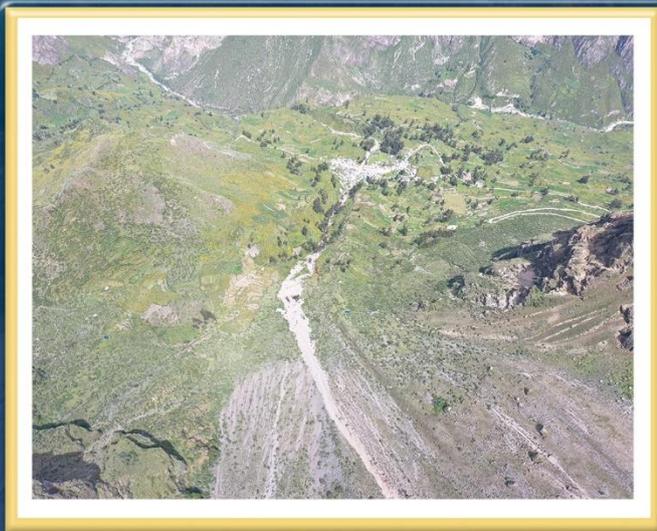


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7571

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) OCURRIDO EL 19 DE FEBRERO DEL 2024 EN EL CENTRO POBLADO DE SUNI

Departamento: Arequipa
Provincia: La Unión
Distrito: Puyca



DICIEMBRE
2024

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) OCURRIDO EL 19 DE FEBRERO DEL 2024 EN EL CENTRO POBLADO DE SUNI

Distrito Puyca, provincia La Unión, departamento Arequipa



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

Equipo técnico:

Yhon Soncco Calsina

Rigoberto Aguilar Contreras

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). "Evaluación de peligro geológico por flujo de detritos (huaico) ocurrido el 19 de febrero del 2024 en el centro poblado de Suni. Distrito Puyca, provincia La Unión, departamento Arequipa". INGEMMET, Informe Técnico N° A7571, 33P.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.2.1. Ubicación	6
1.2.2. Precipitación pluvial	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
3.1. Unidades litoestratigráficas	10
3.1.1. Centro volcánico Choco	10
3.1.2. Grupo Tacaza – Formación Orcopampa	10
3.1.3. Deposito coluvial (Qh-col)	11
3.1.4. Depósito proluvial (Qh-pl)	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	11
4.1. Pendientes del terreno	11
4.2. Unidades Geomorfológicas	12
4.2.1. Unidades de carácter tectónico degradacional y denudacional	12
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	14
5.1.1. Flujo de detritos (huaico) en Suni	14
5.1.1. Avalancha de detritos	19
5.2. Evidencia de procesos de movimientos en masa antiguos	19
5.3. Factores condicionantes	21
5.4. Factores desencadenantes	21
6. SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS	21
7. CONCLUSIONES	24
8. RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXO 1 MAPAS	27

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizada en el centro poblado Suni, del distrito de Puyca, provincia La Unión, 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 secuencias moderadamente meteorizadas y poco fracturadas, compuesta de lavas andesíticas y porfiríticas con cristales de plagioclasas y cuarzo (Formación Choco); alternancia entre rocas volcánicas y sedimentarias, que se encuentran moderadamente meteorizadas y poco fracturadas (Grupo Tacaza – Formación Orcopampa). Así como depósitos cuaternarios no consolidados (proluviales y coluviales), conformados por bloques, gravas y limos.

El centro poblado Suni está ubicado sobre las unidades geomorfológicas siguientes: montaña en roca intrusiva, vertiente coluvial de detritos y vertientes o piedemontes aluvio- torrencial, en esta última subunidad ocurren los flujos de detritos

Los principales peligros geológicos identificados en el centro poblado de Suni corresponden a flujo de detritos (huaico) y avalancha de detritos. Algunas viviendas del centro poblado están ubicadas sobre el cauce de la quebrada Humatimpo, el cual ya no se visualiza por estar ocupado de viviendas e infraestructura.

El 19 de febrero, ocurrió un flujo de detritos (huaico), que descendió por el cauce de la quebrada Humatimpo. Según testimonios de los pobladores el hecho ocurrió al promediar las 13:00 horas, a consecuencia de una lluvia intensa en la parte alta.

Según el modelo de simulación, los flujos de detritos recientes presentaron volúmenes de hasta 36500 m³, frente a precipitaciones pluviales de 50 mm. Considerando una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%). El flujo simulado desborda de su curso.

Los factores condicionantes que originan los peligros geológicos son: rocas volcánicas y sedimentarias, que en algún momento estuvieron dispuestos en bancos, rocas del (Grupo Tacaza), compuestos por aglomerados y brechas de rocas basálticas. Además de depósitos cuaternarios (proluviales y coluvial), no consolidados. Pendientes de terreno varía de moderado a fuertemente inclinado (10° - 25°) y en la parte alta de los cerros se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°). Además de unidades geomorfológicas de vertiente coluvial de detritos y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.

Con base en las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la calle principal del centro poblado Suni es considerado de **PELIGRO MUY ALTO** y **ZONA CRÍTICA**, mientras que el resto de la población es considerado de **PELIGRO ALTO** frente a movimientos en masa, principalmente por flujo de detritos (huaicos).

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, como: Definir el cauce de la quebrada Humatimpo y reubicar las viviendas ubicadas en la calle principal de Suni, y evaluar la posible reubicación del resto de viviendas, a una zona más segura, fuera del cauce de la quebrada.

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 (ACT11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo el oficio N° 465-2024-GRA/GRGRD, emitido por el Gobierno Regional de Arequipa y oficio N° 128-2024-MDP/A, emitido por la Municipalidad Distrital de Puyca, por impacto de daños a consecuencia de intensas precipitaciones pluviales. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el centro poblado de Suni, distrito de Puyca, en la provincia La Unión, en el departamento de Ayacucho.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los ingenieros Yhon Soncco y Rigoberto Aguilar, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan al centro poblado de Suni, en el distrito de Puyca. Los trabajos de campo se realizaron del 08 al 20 de abril 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 de la Municipalidad Distrital de Puyca 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 por flujo de detritos (huaico) que se presentó en el centro poblado de Suni; evento que comprometió la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores que condicionaron y detonaron la ocurrencia del flujo de detritos (huaico) del 19 de febrero del 2024.
- 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. El autor menciona presencia de caída de rocas y derrumbes, en la carretera de acceso al distrito de Puyca, debido a substrato de mala calidad, conformado por conglomerados y aglomerados; pendiente del terreno fuerte, escasa cobertura vegetal.
- b) Olchauski E. & Davila D. (1994) – Geología del cuadrángulo de Chuquibamba y Cotahuasi, INGEMMET, Boletín N°50, Serie A. En inmediaciones del distrito de Puyca, afloran rocas riolíticas del Grupo Tacaza.
- c) Zavala, B. (2017). Informe técnico A6779. Aspectos geológicos y geomorfológicos del valle y cañón del Cotahuasi. El cañón de Cotahuasi se formó por la erosión de las aguas del río del mismo nombre y de los ríos Huayllapaña y Huarcayatiene, el proceso de incisión generó movimientos de material en las laderas.

1.2.1. Ubicación

El centro poblado de Suni se sitúa en la margen derecha del río Cotahuasi, en el distrito de Puyca, provincia La Unión, departamento Arequipa (figura 1), dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas de área evaluado en el centro poblado de Suni

Localidad	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
Suni	746766	8335561	-15.043665°	-72.704730°



Figura 1. Vista del centro poblado de Suni

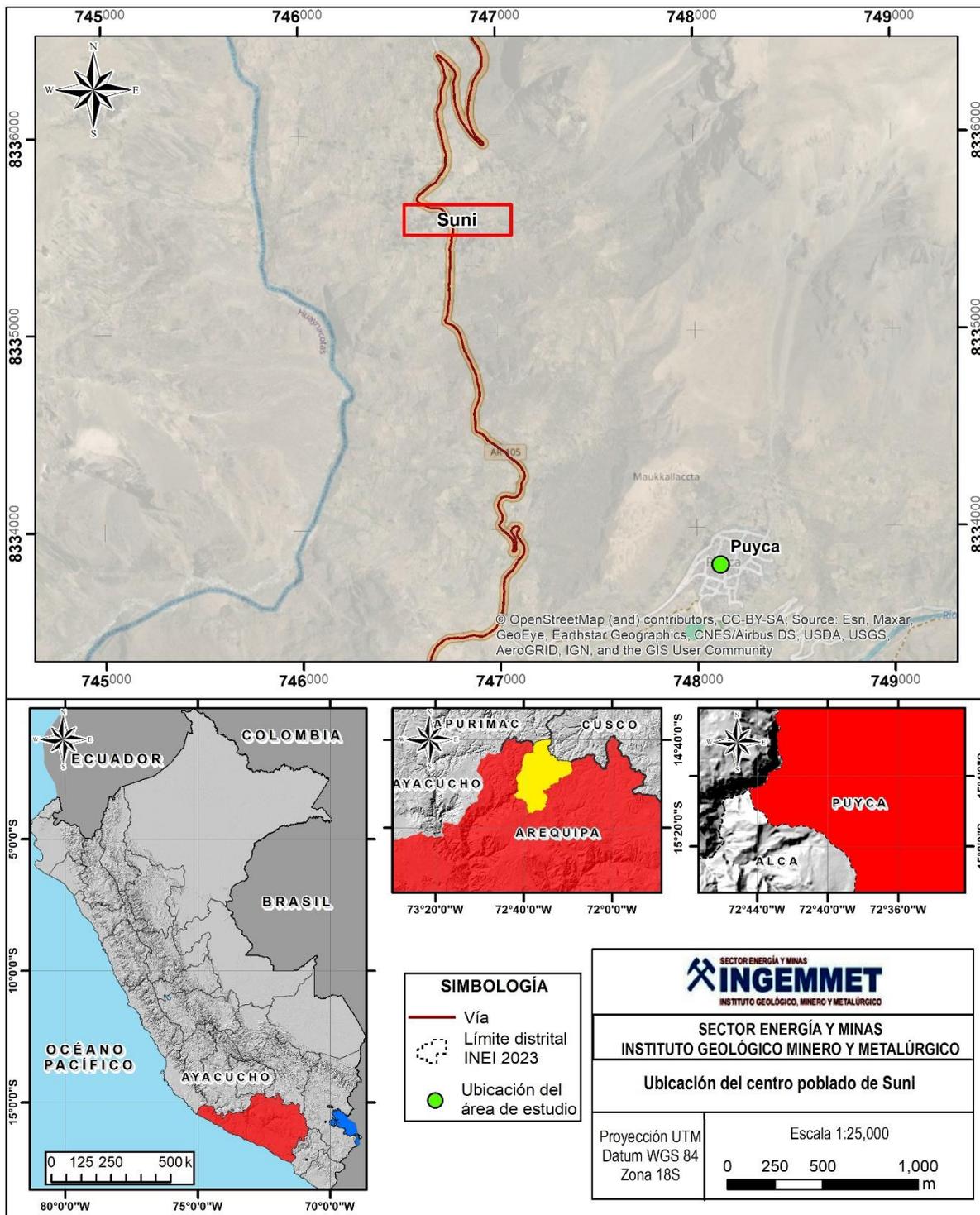


Figura 2. Ubicación del área de evaluación en el centro poblado de Suni

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 - Aplao	Asfaltada	177	3 h 7 min
Aplao – Chuquibamba	Asfaltada	49.5	1 h 15 min

Chuquibamba - Cotahuasi	Asfaltada	144	2 h 58 min
Cotahuasi - Puyca	Trocha	73.1	2 h 55 min
Puyca - Suni	Trocha	3.6	25 min

1.2.2. Precipitación pluvial

Según la información disponible de las estaciones meteorológicas Pullhuay y Puyca del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), (figuras 3 y 4). Se cuenta con información de una ventana de tiempo desde 1964 hasta el 2013, la mayor precipitación es de aproximadamente 500 mm, según la estación Pullhuay. Sin embargo, según la estación Puyca se presentó precipitaciones de hasta 50 mm.

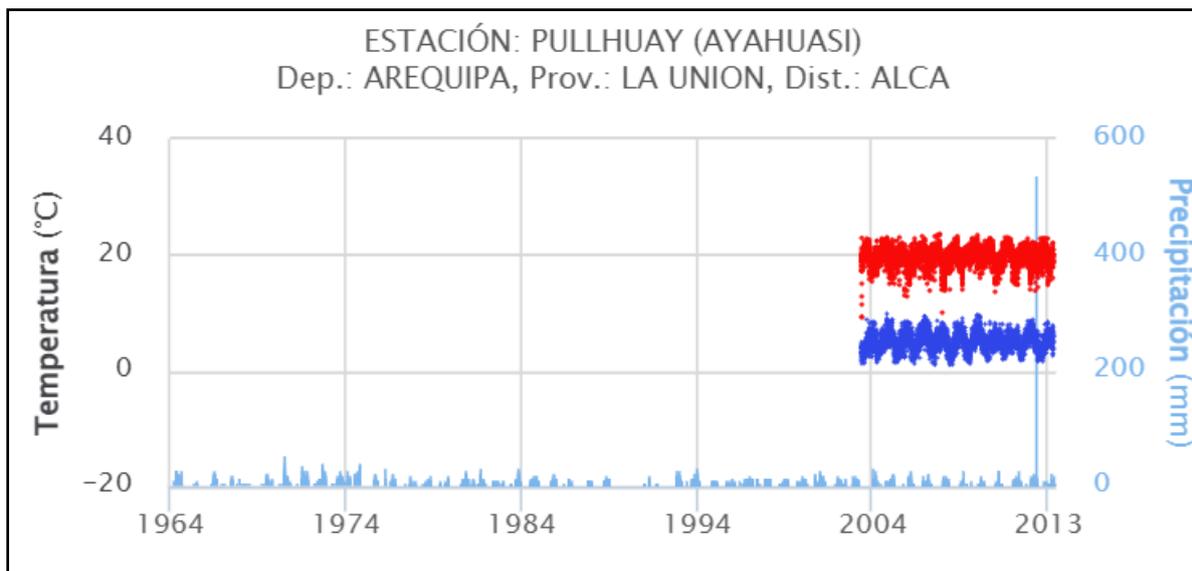


Figura 3. Precipitación diaria según la estación Pullhuay. Ventana de tiempo 1964 al 2013.

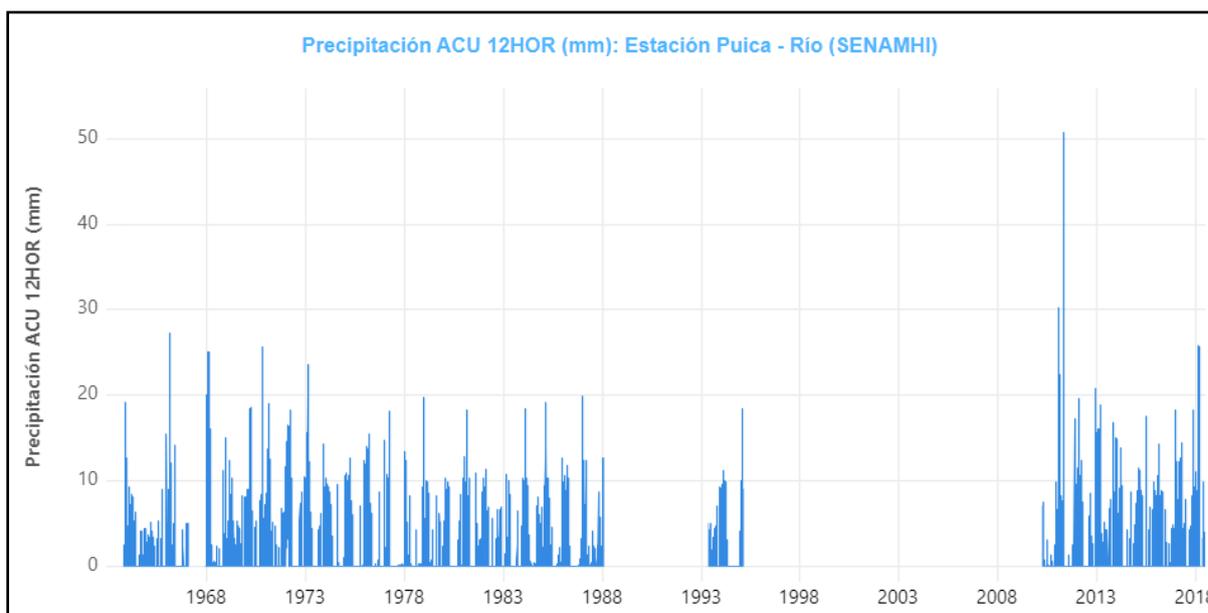


Figura 4. Precipitación diaria según la estación Puyca.

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:

METEORIZACIÓN (weathering): Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

CÁRCAVAS: La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los

mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

PELIGRO GEOLÓGICO: Proceso natural que puede causar daños materiales o la pérdida de vidas, la interrupción de actividades sociales y económicas, así como también la degradación ambiental. Pueden originarse en el interior de la tierra (sismos, tsunamis, fallas geológicas y la actividad volcánica); o en la superficie de la tierra, aquí se encuentran los movimientos en masa como deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas, flujos, etc.) (EIRD, 2009).

SUSCEPTIBILIDAD: Es el grado de propensión que tiene una zona a que en ella se genere o que resulte afectada por un movimiento en masa debido a sus condiciones intrínsecas (tipo de roca, suelo, cobertura vegetal, forma del terreno, agua superficial y subterránea).

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.

FLUJO DE DETRITO (flujo de detrito): 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.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo de Cotahuasi 31-q. Olchauski E. & Davila D. (1994). 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. Centro volcánico Choco

Unidad conformada por lavas andesíticas rojizas, textura porfiríticas con cristales de plagioclasa; tobas vítreas rosáceas con pómez con cristales de plagioclasa y cuarzo, también presenta líticos volcánicos heterogéneos. La unidad aflora en gran parte del área evaluada (Anexo 1, mapa 1), se encuentra moderadamente meteorizada y poco fracturada.

3.1.2. Grupo Tacaza – Formación Orcopampa

Secuencia volcánica de aglomerados y brechas, de rocas basálticas, que de manera significativa reflejan las repetidas alternancias de erupciones tanto efusivas como explosivas y etapas de sedimentación que ocurrieron durante un período geológico más o menos largo. Se disponen en bancos gruesos, pseudo estratiformes y lenticulares, mostrando en algunos casos una significativa horizontalidad y en otros buzamientos promedio de 10° a 13° principalmente al NNE. Por efectos de meteorización, exhiben generalmente coloraciones rojizas, violáceas, moradas, amarillentas, verdosas, entre otras. La unidad aflora al oeste del centro poblado de Suni

(Anexo 1, mapa 1), encuentra moderadamente meteorizada y poco fracturada.

3.1.3. Depósito coluvial (Qh-col)

Los depósitos coluviales son acumulaciones de fragmentos de roca angulosos que se transportan por la fuerza de la gravedad y se depositan en los taludes de los macizos rocosos. En el área de estudio estos depósitos se emplazaron al noreste del centro poblado Suni (Anexo 1, mapa 1). Son poco consolidados.

3.1.4. Depósito proluvial (Qh-pl)

Son provenientes de corrientes temporales de agua, lluvia y flujos de detritos (huaicos). Constituido por fragmentos heterométricos de formas angulosas y subangulosas de naturaleza polilitológica, dispuestos en forma caótica, inmersos en matriz areno limosa. Estos depósitos se encuentran en el cauce de la quebrada que desciende por el medio de la zona urbana del centro poblado Suni (Anexo 1, mapa 1), estos se aprecian poco consolidados.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

A inmediaciones de la zona urbana del centro poblado Suni, la pendiente de los terrenos varía desde moderada a fuertemente inclinada ($10^\circ - 25^\circ$); las laderas presentan pendientes fuertes a muy fuerte ($25^\circ - 45^\circ$), y en la parte alta de los cerros se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^\circ$), (figuras 5). Se elaboró un mapa de pendientes de terreno en base al modelo de elevación digital (DEM) de 20 cm, a partir de fotogrametría con dron (abril 2024). Anexo 1, mapa 2).



Figura 5. El texto de color amarillo muestra las distintas pendientes en inmediaciones del centro poblado de Suni.

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:

- Unidades de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Unidades de carácter depositacional o agradacional

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

4.2.1. Unidades de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades y subunidades:

Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Montaña en roca intrusiva (RM-rvs): Laderas montañosas en donde procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas volcánico-sedimentarias. Tienen buena exposición en el sector evaluado. Litológicamente corresponde a rocas del Grupo Tacaza y el centro volcánico Choco. Se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente entre fuerte a muy fuerte (25° a 45°). Esta subunidad es susceptible a generar flujo de detritos y avalancha de detritos.

Unidad de Piedemontes

Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V – d): Es un relieve conformado por depósitos de bloque de rocas en la base de las laderas de montañas, bloques con la misma litología, se producen por caídas, vuelcos y meteorización física, los bloques más angulosos suelen depositarse en la base. En la zona de estudio, se dan en laderas escarpadas. Se producen por efectos de la meteorización física de las rocas y fracturamiento tectónico que han sufrido. Presenta pendientes fuertes a muy fuertes (25° a 45°).

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Relieve conformado por depósitos no consolidados, se encuentran en las bases de las quebradas, son el resultado de la acumulación de material movilizado por lluvias excepcionales a manera de flujos de detritos, modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y quebradas. En el área de estudio presenta pendientes de moderado a muy fuerte (15° a 45°).

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos son el resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por los ríos. esto 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 urbana, se identificó peligros geológicos de tipo movimientos en masa, flujo de detritos y derrumbes. Estos procesos tienen 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. Flujo de detritos (huaico) en Suni

El 19 de febrero del 2024 ocurrió un flujo de detritos (huaico), que descendió por el cauce de la quebrada Humatimpo, según testimonio de pobladores locales el hecho ocurrió al promediar las 13:00 horas, a consecuencia de una lluvia intensa en la parte alta.

Durante los trabajos de campo se identificó, como remanentes, flujos de detritos recientes (huaico), el cual posee entre 1 a 4 m de potencia. En la parte interna de las sinuosidades se aprecian depósitos conformado por bloques (35%), gravas (40%), dentro de una matriz fina de (25%). Los bloques de mayor tamaño llegan a medir hasta 1.5 m de diámetro.



Figura 6. Cauce de la quebrada Humatimpo y el centro poblado Suni.



Figura 7. El cauce de la quebrada Humatimpo desaparece al entrar a la zona urbana del centro poblado Suni.



Figura 8. El cauce de la quebrada Humatimpo al entrar a la zona urbana de Suni desaparece, en su lugar, las aguas son evacuadas por un pequeño canal.



Figura 9. Marcas del paso del flujo de detritos del 19/02/2024 en las paredes de las viviendas del Centro poblado Suni.

El cauce de la quebrada Humatimpo desaparece al entrar a la zona urbana del centro poblado de Suni, este fue rellenado para la ocupación de viviendas.



Figura 10. Las aguas provenientes de la quebrada Humatimpo son evacuadas mediante un pequeño canal de 15 cm de ancho.



Figura 11. Huella del flujo de detrito del 19 de febrero en el Centro poblado Suni.



Figura 12. Huella del flujo de detritos del 19 de febrero que alcanzó una altura de 1.40 m.



Figura 13. Afectación de viviendas e infraestructura ocasionada por el flujo de detrito del 19 de febrero, como la I.E. N°40553 Suni.

5.1.2. Avalancha de detritos

En la parte alta del centro poblado Suni, se aprecia una serie de avalanchas de detritos, los cuales poseen una zona de arranque sobre los 4530 m s.n.m. presenta formas poco definidas.

El material proveniente de las avalanchas de detritos se depositó en las partes bajas, donde fue erosionado e incorporado en el flujo de detritos ocurrido el 19 de febrero. Ello aumentó el volumen y el poder destructivo del flujo.

5.2. Evidencia de procesos de movimientos en masa antiguos

En base al análisis del modelo digital del terreno adquirido mediante fotogrametría con dron, se evidencia que una parte del centro poblado Suni, está ubicado sobre el cauce de una quebrada antigua, que posee hasta 265 metros de ancho (figuras 14 y 15). Esta depresión aparentemente representa un proceso de movimiento en masa ocurrido en el pasado.

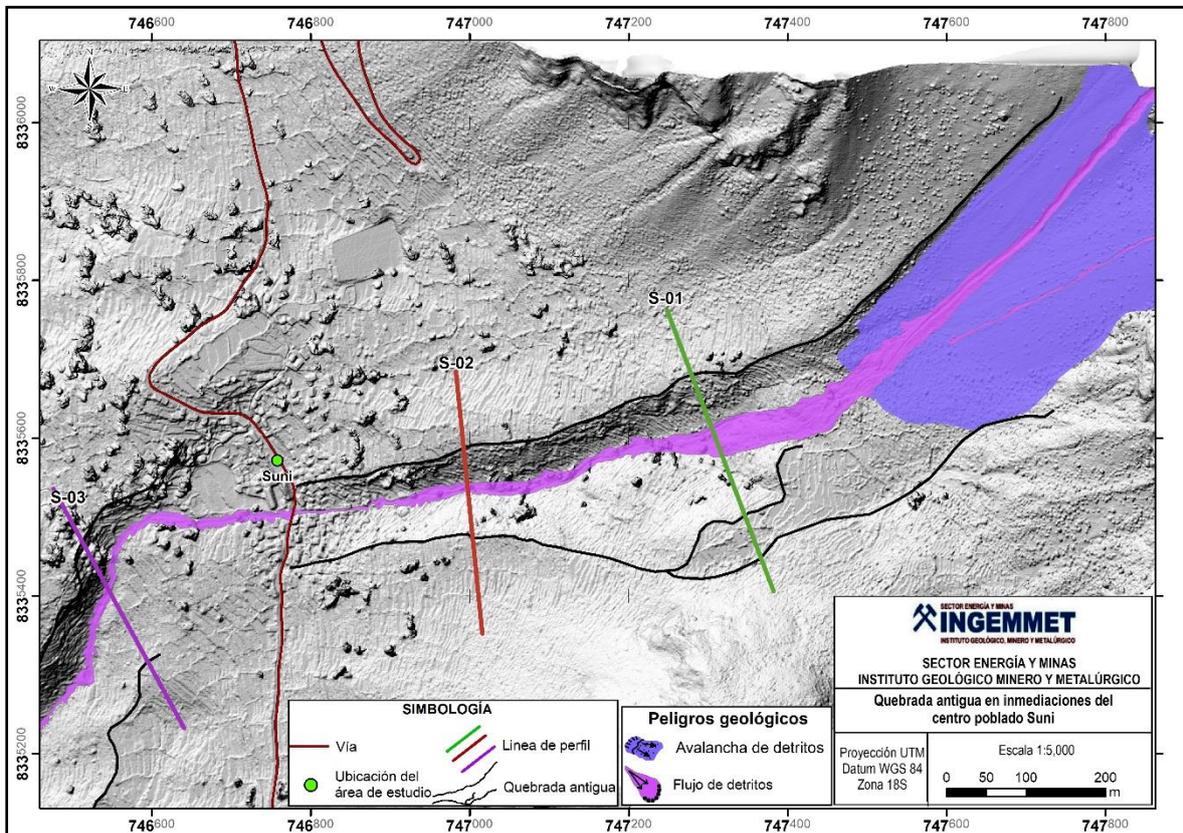


Figura 14. Evidencias de un cauce antiguo de quebrada Humatimpo en el sector Suni.

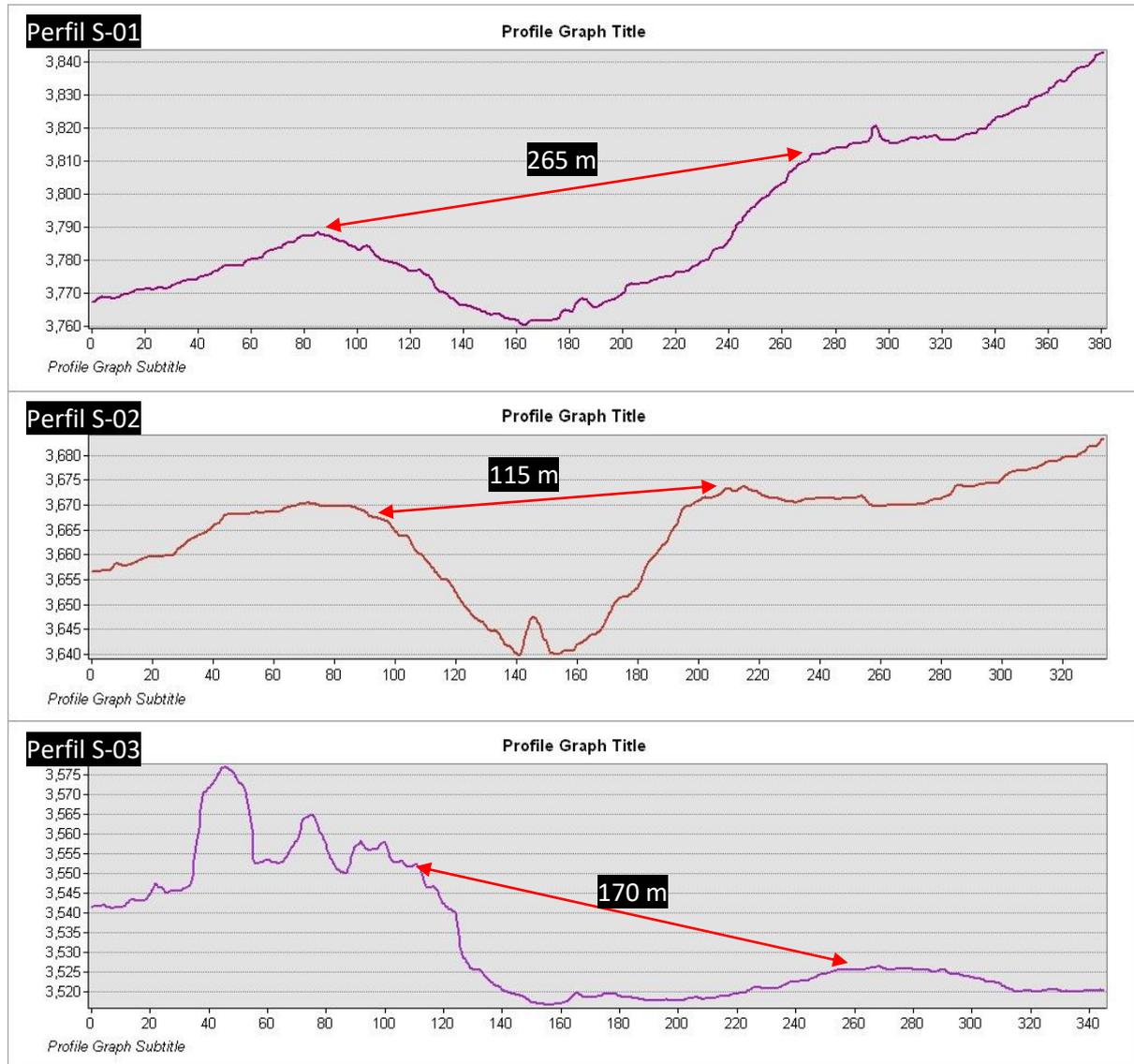


Figura 15. Perfiles transversales, en los cuales se puede distinguir la quebrada Humatimpo.

5.3. Factores condicionantes

- **Litológicos.** Alternancia de rocas volcánicas y sedimentarias, que en algún momento estuvieron dispuestos en bancos, rocas del (Grupo Tacaza), compuestos por aglomerados y brechas de rocas basálticas. Además de depósito cuaternarios (proluviales y coluvial), no consolidados.
- **Geomorfológico.** Las laderas presentan pendientes que varían de moderado a fuertemente inclinado (10° - 25°) y en la parte alta de los cerros se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°). Esto permite que, el material suelto que se encuentra en la ladera se desplace cuesta abajo con facilidad. En el área se identificó unidades geomorfológicas de vertiente coluvial de detritos y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial.

5.4. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al deslizamiento y los flujos de detritos (huaicos) también son generados por lluvias intensas. Según la estación de Puyca del (Senamhi), en la zona, históricamente se presentaron precipitaciones de hasta 50 mm.

6. SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS

La simulación de flujos de detritos (huaico) se realizó empleando el código VolcFlow, (Kelfun et al., 2005), este permite simular la trayectoria de flujos densos, flujos diluidos a partir de los flujos densos y la sedimentación de los flujos diluidos, basado en el promedio vertical de las ecuaciones de conservación de la masa (ecuación 1) y la cantidad de movimiento (ecuaciones 2 y 3). Los parámetros empleados, para simular los flujos se describen más adelante.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hu}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hu}^2) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{huv}) = \mathbf{ghsin}\alpha_x - \frac{1}{2} \mathbf{Kaccpass} \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{gh}^2 \mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_x}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\mathbf{hv}) + \frac{\partial}{\partial x}(\mathbf{hvu}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{hv}^2) = \mathbf{ghsin}\alpha_y - \frac{1}{2} \mathbf{Kaccpass} \frac{\partial}{\partial y}(\mathbf{gh}^2 \mathbf{cos}\alpha) + \frac{\mathbf{T}_y}{\rho} \quad (3)$$

Donde:

- h: Es el espesor del flujo
- u: = (u,v) es la velocidad del flujo
- α: Pendiente del terreno
- ρ: Densidad aparente
- T: Retardo de esfuerzo - "Savage y Hunter (1989)"
- Kaccpass: Coeficiente de presión terrestre - "Inverson y Denlinger (2001)"

Volumen del huaico (flujo de detritos)

Este parámetro es uno de los más importantes datos de entrada en el código VolcFlow, su cálculo es dificultoso, para ello se empleará la metodología utilizada en trabajos anteriores.

El volumen de un flujo de detritos está representado por la sumatoria del volumen de agua y sedimentos, en base a un porcentaje proporcional. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está expresado por la ecuación número 1.

$$V_{\text{flujo}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{sedimentos}} \quad (1)$$

Según algunos autores, el porcentaje varía desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua (Vascones, 2009); 50% de agua y 50% de sedimentos (Vallance, 2000); 70% de agua y 30% de sedimentos (Córdoba et al., 2014). Scott et al., 1995 plantea desde 40 % de sedimentos y 60 % de agua.

La principal fuente de agua para el cálculo del volumen de los flujos de detritos (huaicos) y lahares secundarios en el Perú está dada por la precipitación de lluvias intensas y excepcionales. Para ello se emplea valores de precipitación de las estaciones meteorológicas del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

Los flujos de detritos en una quebrada se generan en la parte alta de la cuenca, durante su recorrido pasan por una zona de transporte para finalmente depositarse en las partes bajas formando abanicos (Bateman et al., 2006).

El volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación de lluvias expresado en P (mm) y el área de la zona de generación de flujo representado como A (m²), (figura 16), cuyo límite horizontal está dado por el divortium aquarum o línea divisoria de aguas, la cual es una línea imaginaria que traza la separación entre dos vertientes o cuencas fluviales limítrofes (Casaverde, 2011); mientras que el límite vertical está representado por zonación dada por Bateman et al., (2006).

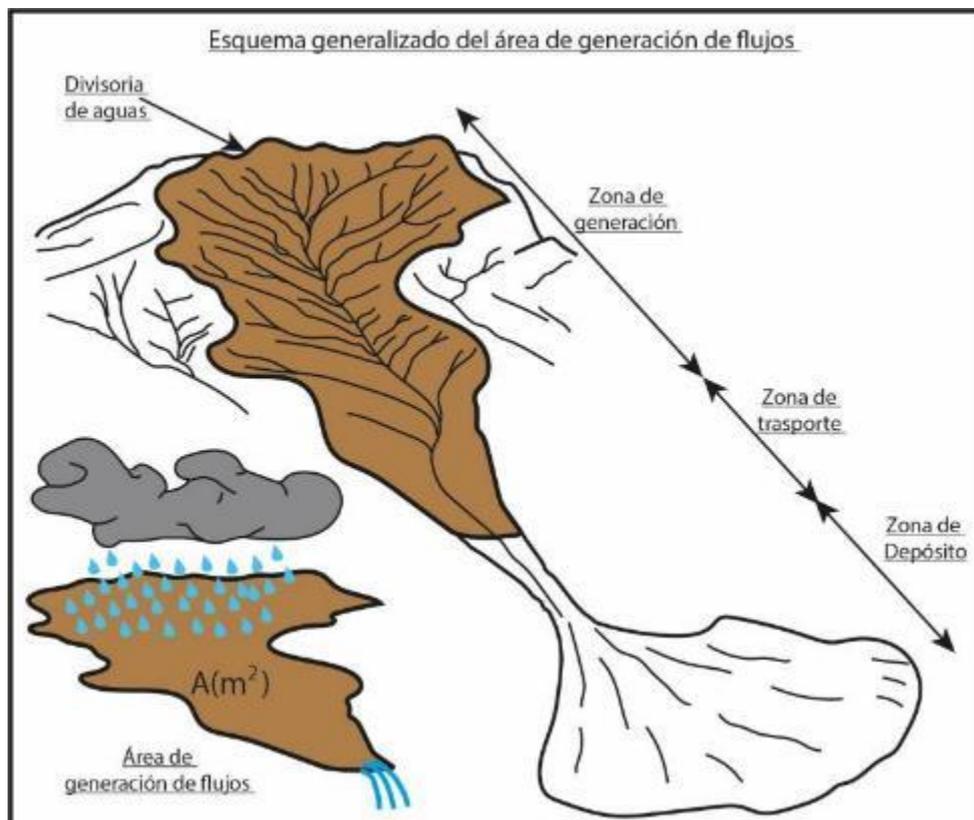


Figura 16. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

El volumen de agua se representa por:

$$V_{\text{agua}} = P_n * A \quad (2)$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos

En base al porcentaje de agua y sedimentos de un flujo de detritos o lahares, se calcula el volumen total. Si tomamos la relación de 60 % de agua y 40 % de sedimentos.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A \quad (3)$$

Según la información disponible del SENAMHI, en base a los datos de las estaciones Palca, desde 1965 hasta 2014. La mayor precipitación es de aproximadamente 25 mm. Asimismo, en la estación Toquepala, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 25 mm.

Asimismo, para el análisis del evento de huaico (flujo de detritos) se tomó la precipitación de 25 mm, valor interpretado de las gráficas presentadas por SENAMHI.

Para los huaicos en la quebrada Humatimpo, se consideró la relación de 60% de agua y 40% de sedimentos.

Precipitación neta mediante el método del S.C.S.

Parte del agua de lluvia tiende a infiltrarse, debido a esto se tiene que separar dicha precipitación infiltrada, denominada (abstracción). El exceso de precipitación o precipitación neta es la precipitación que no se retiene en la superficie y no se infiltra en el suelo. Para nuestro caso es esta fracción, denominada precipitación neta, la cual genera la escorrentía directa.

El suelo retiene una cierta cantidad de caída de lluvia al principio, y después las abstracciones van disminuyendo progresivamente (figura 17).

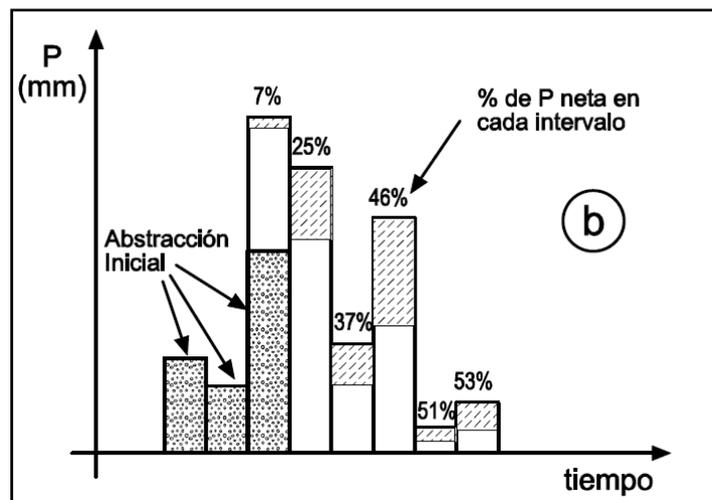


Figura 17. Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

El cálculo de la precipitación neta fue establecido empíricamente por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S), USA (Mockus, V., 1964).

La clave es la precipitación inicial que no produce escorrentía directa. Esta magnitud se denomina abstracción inicial o umbral de escorrentía. Para su evaluación se emplea tablas en función del tipo de suelo (arenosos, arcilloso, etc.), uso del suelo (bosques, cultivos, etc.), pendientes, etc. Las tablas americanas proporcionan valores de CN (“curve number”, que es una función de la abstracción inicial), mientras que las tablas españolas indican valores del umbral de escorrentía (P_o).

El cálculo del umbral de escorrentía, P_o (o “abstracción inicial”). Es un dato que aparece tabulando en función del uso de la superficie, de la pendiente, del tipo de suelos (A, B, C o D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Las tablas de P_o pueden modificarse si los días anteriores han sido muy secos o húmedos.

Para el cálculo de P neta. Se utiliza la expresión siguiente. (Mockus, V., 1964).

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

- P = precipitación total registrada (SENAMHI)
- P_n = precipitación neta
- P_o = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta P_n (m), continuamos a partir de la ecuación 3.

$$V_{\text{agua}} = 60\% V_{\text{flujo}} = P_n * A$$

$$V_{\text{flujo}} = P_n * A * (X\%)^{-1}$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos
- X, porcentaje de agua asumido por el investigador.

En la microcuenca de la quebrada Humatimpo, el área de generación del huaico mide 400000 m², para una precipitación de 50 mm, por lo tanto, la precipitación neta fue de 36 mm; consideraremos una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%)

Después de realizar los cálculos matemáticos, el volumen del huaico para la quebrada Ataspaca es de 35600 m³.

Resultados de simulación del huaico (flujo de detritos)

El objetivo de las simulaciones de huaicos (flujo de detritos) es mostrar los sectores que podrían ser afectadas por estos. Herramienta principal en la ubicación de áreas idóneas para la reubicación de las viviendas (figura 17). En base a los resultados, se debería reubicar a las viviendas de la calle principal del centro poblado Suni.

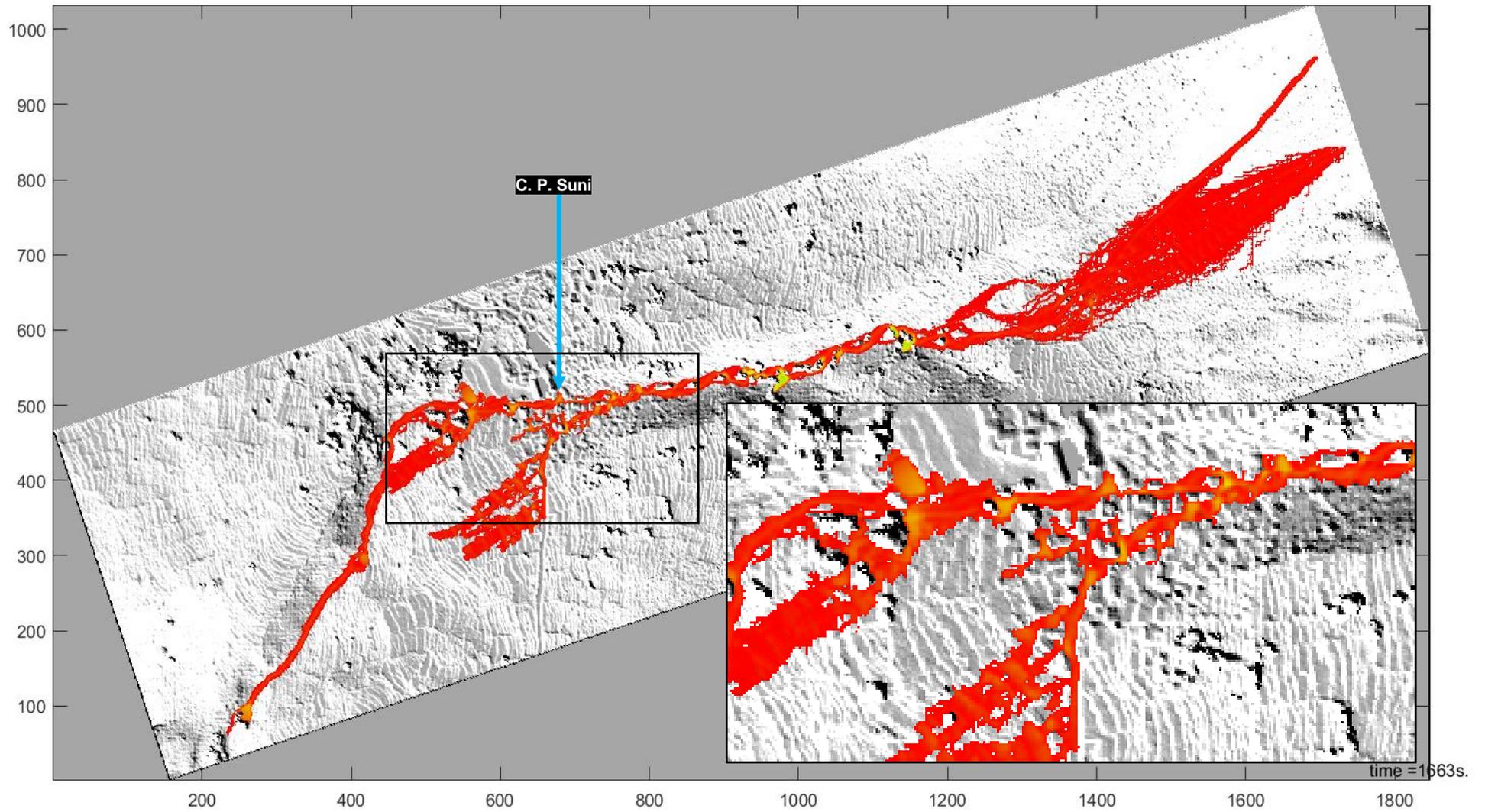


Figura 18. Resultados de la simulación de flujo de detritos en el centro poblado de Suni.

7. 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 el área de estudio aflora una secuencias moderadamente meteorizada y poco fracturada, compuesta de lava andesítica, porfíricas con cristales de plagioclasa, cuarzo (Formación Choco); alternancia entre rocas volcánicas y sedimentarias, se encuentran moderadamente meteorizada y poco fracturada (Grupo Tacaza – Formación Orcopampa). En el sector también afloran depósitos cuaternarios no consolidados (proluviales y coluviales), compuestos de fragmentos heterométricos de formas angulosas y subangulosas de naturaleza litológica heterogénea.
2. Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio corresponden a una montaña en roca intrusiva, vertiente coluvial de detritos y vertientes o piedemontes aluvio- torrencial, en esta última subunidad ocurren los flujos de detritos.
3. Los principales peligros geológicos que afectan al centro poblado de Suni son los flujos de detritos (huaico) y avalancha de detritos.
4. El cauce de la quebrada Humatimpo desaparece al entrar a la zona urbana del centro poblado de Suni, este se encuentra ocupado por viviendas e infraestructura.
5. El flujo de detritos ocurrido el 19 de febrero, que descendió por el cauce de la quebrada Humatimpo, promediando las 13:00 horas, ocurrió a consecuencia de una lluvia intensa en la parte alta.
6. Según el modelo de simulación realizada, los flujos de detritos recientes presentan volúmenes de hasta 36500 m³, para precipitaciones pluviales de 50 mm. Considerando una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%). El flujo simulado desborda de su curso; es decir sobrepasa la capacidad del cauce de la quebrada.
7. Los factores condicionantes del peligro geológico son: Alternancia de rocas volcánicas y sedimentarias del (Grupo Tacaza), conformado por aglomerados y brechas de rocas basálticas. Además de depósitos (proluviales y coluvial), no consolidados. Pendiente del terreno, de moderado a fuertemente inclinado (10° - 25°) y en la parte alta de los cerros se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°). Además de unidades geomorfológicas de vertiente coluvial de detritos y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial, que evidencias eventos pasados ocurridos en la zona.
8. Con base en las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye la calle principal del centro poblado Suni es considerado de **PELIGRO MUY ALTO y ZONA CRÍTICA**, mientras que el resto de la población es considerado de **PELIGRO ALTO** frente a movimientos en masa, principalmente por flujo de detritos (huaicos).

8. RECOMENDACIONES

Las medidas correctivas que a continuación se brindan, tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a flujos de detritos (huaicos) y los derrumbes. Así mismo, la implementación de dichas medidas permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

1. Construir muros escalonados y/o enrocado en el cauce de la quebrada Humatimpo, con la finalidad de proteger las viviendas del centro poblado.
2. Implementar sistemas de disipación de energía de flujos, estos deben estar ubicados aguas arriba de la zona urbana del centro poblado Suni.
3. Definir el cauce de la quebrada Humatimpo y **reubicar las viviendas ubicadas en la calle principal del centro poblado Suni**, y evaluar la posible reubicación del resto de viviendas, a una zona más segura, fuera del alcance del cauce de la quebrada.
4. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas, en gestión de riesgos, para evitar la construcción de viviendas o infraestructura en áreas susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa.
5. Implementar un sistema de alerta temprana (SAT) en el cauce de la quebrada Humatimpo; que permita alertar de manera oportuna a los pobladores, de la ocurrencia de flujos de detritos (huaico). Con la tecnología actual se puede realizar un monitoreo en tiempo real.
6. Forestar las laderas buscando mejorar los elementos de sostenimiento. Para ello tomar en cuenta las especies nativas y/o exóticas que más se adapten a las condiciones y principalmente que cumplan con la función de contención del terreno.
7. Realizar un estudio de evaluación de riesgos (EVAR), este debe ser realizado por un profesional evaluador de riesgos acreditado por CENEPRED.



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



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

BIBLIOGRAFÍA

- Martínez, W & Cervantes J.; (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Pausa (31-p).
- Zavala, B. (2017). Informe técnico A6779. Aspectos geológicos y geomorfológicos del valle y cañón del Cotahuasi.
- Vílchez, M.; Ochoa, M. & Pari, W. (2019) - Peligro geológico en la región Ayacucho. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70,245 p.
- 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). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslide's investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportatiön 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.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportatiön 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

Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Geología del centro poblado Suni. Tomado y modificado del mapa geológico del cuadrángulo Cotahuasi 31-q. Olchanski E. & Davila D. (1994).

Mapa N°2. Pendiente del terreno del centro poblado de Suni, elaborado a partir de un modelo digital de elevaciones (DEM – abril 2024) de 30 cm de resolución. Elaboración propia.

Mapa N°3. Geomorfología del centro poblado de Suni. Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.

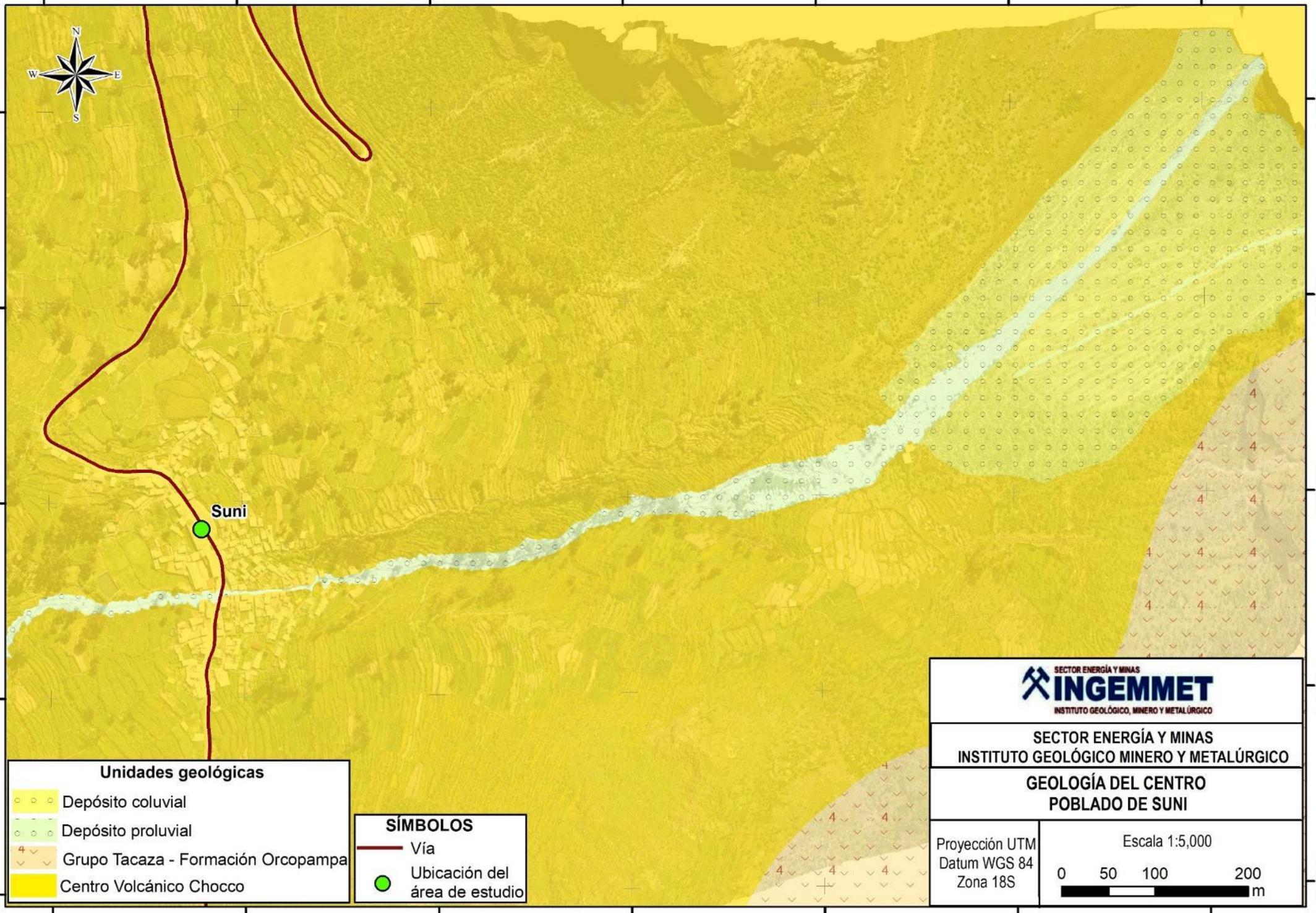
Mapa N°4. Procesos de movimientos en masa del centro poblado de Suni. Elaboración propia.

746600 746800 747000 747200 747400 747600 747800



8335000
8335800
8335600
8335400
8335200

8336000
8335800
8335600
8335400
8335200



Unidades geológicas

- Depósito coluvial
- Depósito proluvial
- Grupo Tacaza - Formación Orcopampa
- Centro Volcánico Chocco

SÍMBOLOS

- Vía
- Ubicación del área de estudio

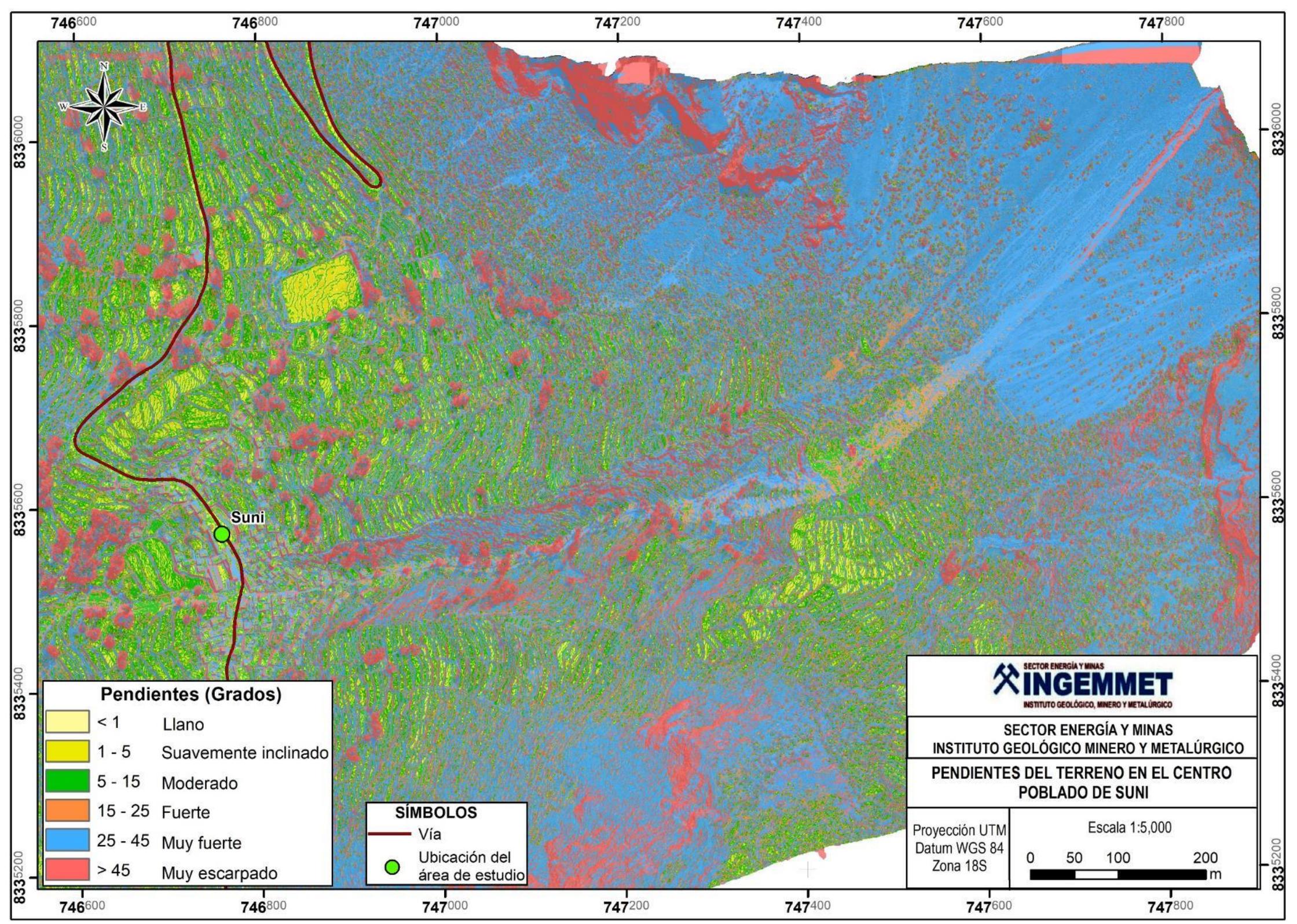
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

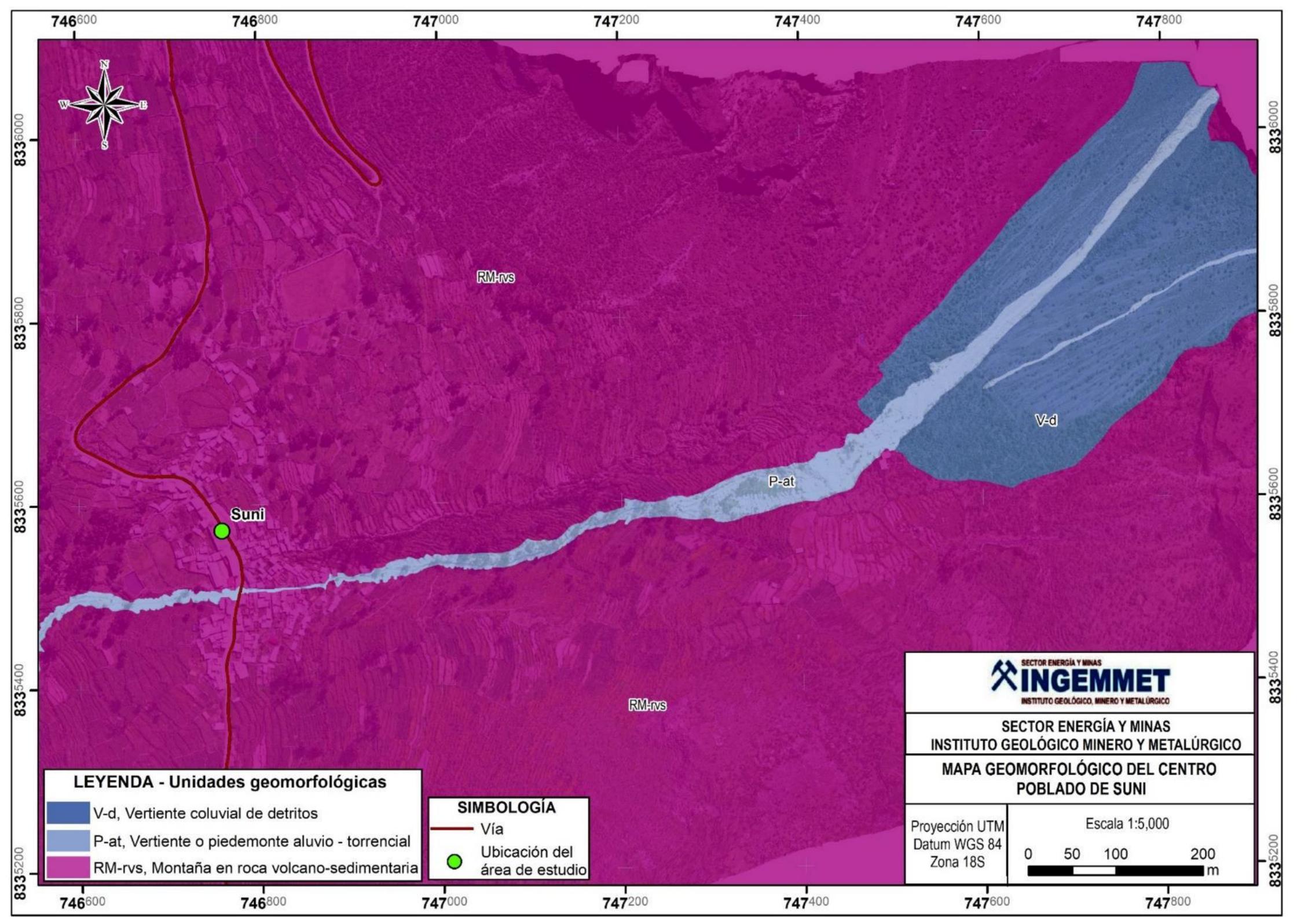
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

GEOLOGÍA DEL CENTRO
POBLADO DE SUNI

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:5,000
	0 50 100 200 m

746600 746800 747000 747200 747400 747600 747800





746600

746800

747000

747200

747400

747600

747800



8336000

8336000

8335800

8335800

8335600

8335600

8335400

8335400

8335200

8335200

RM-rvs

Suni

P-at

V-d

RM-rvs

LEYENDA - Unidades geomorfológicas

-  V-d, Vertiente coluvial de detritos
-  P-at, Vertiente o piedemonte aluvio - torrencial
-  RM-rvs, Montaña en roca volcano-sedimentaria

SIMBOLOGÍA

-  Vía
-  Ubicación del área de estudio

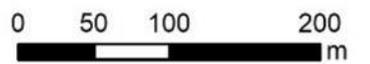


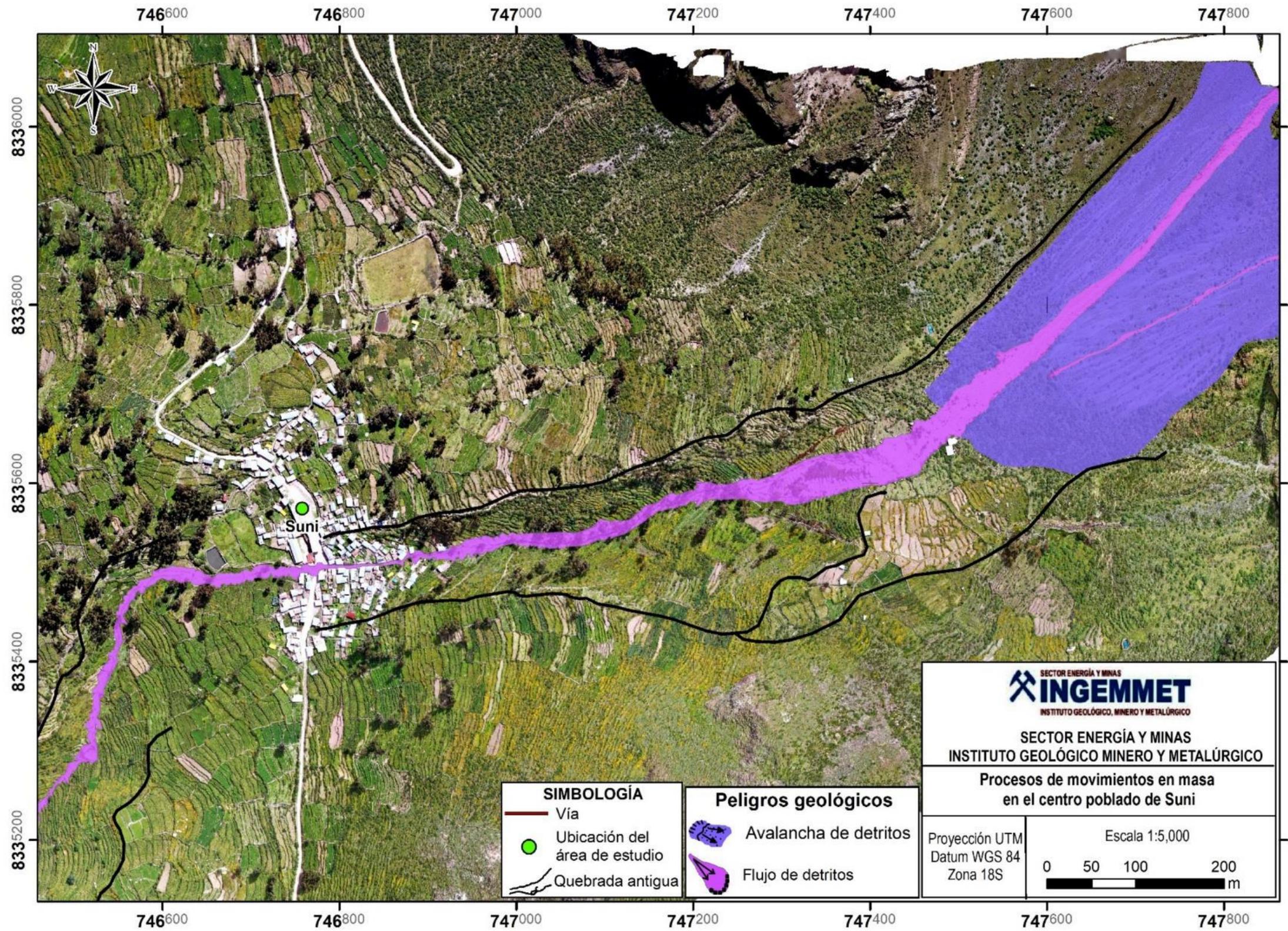
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL CENTRO POBLADO DE SUNI

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S

Escala 1:5,000





SIMBOLOGÍA

-  Vía
-  Ubicación del área de estudio
-  Quebrada antigua

Peligros geológicos

-  Avalancha de detritos
-  Flujo de detritos


 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO

Procesos de movimientos en masa
en el centro poblado de Suni

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:5,000 <div style="text-align: center;">  </div>
--	--