

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

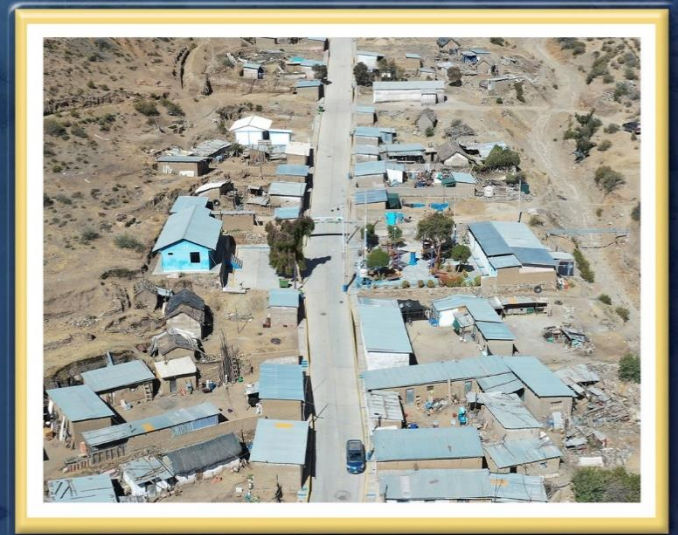
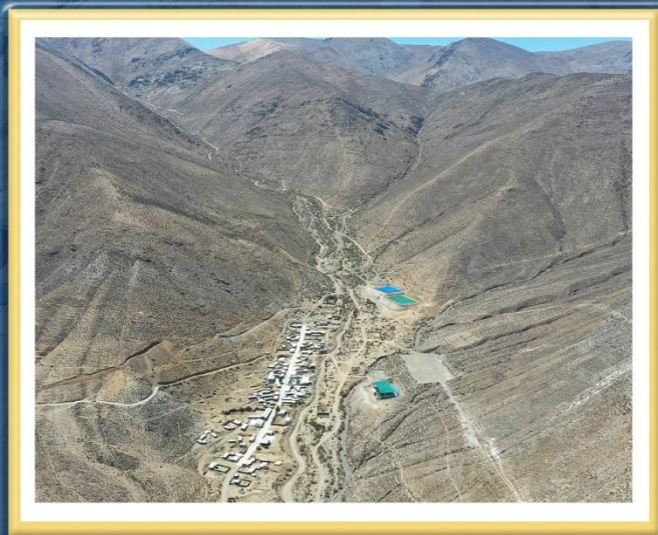
Informe Técnico N° A7525

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ATASPACA

Departamento: Tacna

Provincia: Tacna

Distrito: Palca



JULIO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR FLUJO DE DETRITOS (HUAICO) EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ATASPACA

Distrito Palca, provincia y departamento Tacna

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Yeny Ccorimanya Challco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2024). "Evaluación de peligros geológicos por flujo de detritos (huaico) en la comunidad campesina de Ataspaca, Distrito Palca, provincia y departamento Tacna", Informe técnico A7525, 33p.

ÍNDICE

RESUMEN	4
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	8
1.3.3. Precipitación pluvial	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1 Pendiente del terreno	12
4.2 Unidades geomorfológicas	13
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	13
5.1. Flujo de detritos (huaico)	14
5.2. Otros peligros geológicos - Procesos de erosión de ladera (cárcavas)	17
5.3. Factores condicionantes	20
5.4. Factores desencadenantes	20
6. SIMULACIÓN DE FLUJO DE DETRITOS	20
7. CONCLUSIONES	25
8. RECOMENDACIONES	26
9. ANEXO: MAPAS	29

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en la comunidad campesina de Ataspaca, en el distrito Palca, provincia y departamento Tacna. 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 los flujos de detritos (huaicos), están conformados por depósitos retrabajados de calizas con limolitas, que provienen de secuencias moderadamente meteorizada y medianamente fracturada (Formación Pelado); conglomerados de caliza, con clastos subangulosos, poco consolidados, (Formación Socosani); granodiorita de textura porfirítica a granular, que se encuentra moderada a altamente meteorizadas, con plagioclasas alteradas (unidad intrusiva Challaviento) y depósitos proluviales antiguos y recientes no consolidados.

Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son montaña en roca sedimentaria, montaña en roca intrusiva, vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente, esta última posee pendientes moderadas hasta fuertes (5°-20°).

El principal peligro geológico identificado corresponde a flujo de detritos (huaico) y procesos de erosión de ladera. La comunidad de Ataspaca, se localiza en la margen derecha de la quebrada del mismo nombre. Sobre el cauce se tiene un depósito proveniente de flujo de detritos, se encuentra no consolidado, conformado por bloques (35 %), gravas (40 %), englobados en matriz limo-arcillosa (25%).

Los condicionantes que originan los flujos de detritos (huaicos) y los procesos de erosión de ladera, están dados por: Factor litológico, presencia de conglomerados con clastos de caliza, no consolidado; granodiorita moderada a altamente meteorizadas y depósitos cuaternarios (aluvio-torrenciales y proluviales) no consolidados. Factor geomorfológico, representado por vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente, las dos últimas unidades poseen pendientes moderadas hasta fuertes (5° a 25°). Cobertura vegetal, en el área de estudio la cobertura vegetal es escasa, compuesta principalmente de arbustos y pastos nativos.

Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas mencionadas anteriormente, se concluye que la comunidad campesina de Ataspaca es considerada de **PELIGRO MUY ALTO A ALTO Y ZONA CRÍTICA**, frente a flujo de detritos (huaicos).

Finalmente, se brindan recomendaciones para que las autoridades competentes las tomen a consideración, implementar un sistema de alerta temprano (SAT) en la quebrada Ataspaca, que permita alertar de manera oportuna, la ocurrencia de flujos de detritos (huaico). Con la tecnología actual se puede realizar un monitoreo en tiempo real. Reubicar las viviendas ubicadas al borde del cauce de la quebrada Ataspaca, y evaluar la posible reubicación del resto de viviendas, a una zona más segura, lejos 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 la solicitud del distrito de Palca, según Oficio N° 080–2023–GM/MDP-TACNA; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en la comunidad campesina de Ataspaca, distrito Palca, provincia y departamento Tacna

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al Ingeniero Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan la zona urbana de la comunidad Campesina de Ataspaca. Los trabajos de campo se realizaron entre el 22 y 23 de noviembre del 2023.

La evaluación técnica se realizó en 03 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), cartografiado, 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 Palca 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) en la comunidad campesina de Ataspaca.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- 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.; Gomez, D.; Pari, W.; Peña, F.; Huamán.; M. (2021). Peligro geológico en la región Tacna. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 82, 255 p., 9 mapas. Menciona que Ataspaca está sujeta a erosión de laderas y huaicos, estas se evidencian en la carretera Palca a Caplina en el km 9+540, margen derecha de la quebrada Ataspaca. También se pueden generar en torrenteras que descienden de las laderas del cerro Sarani. Puede afectar viviendas de la comunidad campesina de Ataspaca.

- b) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2019). Evaluación de peligros geológicos en la zona propuesta para la reubicación de Ataspaca: Ingemmet, Informe Técnico N° A6974, 32p. Menciona que, de acuerdo a los registros y evidencias mostradas en campo, el huaico suscitado el 04 de febrero del 2019, afectó viviendas de la comunidad campesina de Ataspaca y a más de 70 familias; el factor desencadenante fue la lluvia extraordinaria que ocurrió el día 04 de febrero del 2019, que se concentró considerablemente en la cuenca alta la quebrada Ataspaca.
- c) Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Oviedo, M.; & Rodríguez, J. (2011). - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca Hoja 36-v & 36-x, escala 1;50,000, Boletín, Serie A, N° 139, Carta Geológica Nacional, 25, 96 p. Propone el empleo de Formación Socosani, para rocas carbonatadas, que anteriormente fue denominado Formación San Francisco por Wilson & García (1962). Los argumentos principales para este renombramiento son la similitud faciológica y las cronozonas del Jurásico medio, ambas presentes en toda la cuenca Arequipa.
- d) Pino. A.; Sempere. T.; Jacay. J.; & Annuzzi. R. (2002). Nuevos aportes geológicos en el estudio de la evolución geodinámica de la cordillera de los andes en el sur del Perú: área Mal Paso-Palca (Tacna). Resumen. XI Congreso Peruano de Geología. Trabajos Científicos Sociedad Geológica del Perú. Identifican rasgos de actividad tectónica. En la zona de Palca, se identificaron brechas y rocas de aspecto silíceo, de grano muy fino, que presentan pequeños cristales angulosos transparentes, estas rocas conforman una faja que comprende varias ramas y corresponden a tectonitas por pasar lateralmente a rocas de falla y presentar a menudo facies y microfacies cataclásticas a miloníticas. El autor menciona haber encontrado una faja angosta de brechas en el flanco izquierdo de la quebrada Ataspaca.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde a la comunidad campesina de Ataspaca, ubicado en el distrito Palca, provincia y departamento de Tacna (figura 1 y fotografía 1); en las coordenadas siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del área evaluado en la comunidad campesina de Ataspaca.

Punto	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	402066	8040009	-17.724902°	-69.923648°
2	403230	8040015	-17.724902°	-69.912672°
3	403231	8039542	-17.729174°	-69.912682°
4	402067	8039536	-17.729175°	-69.923657°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Punto Central	402495	8039770	-17.727077°	-69.919613°

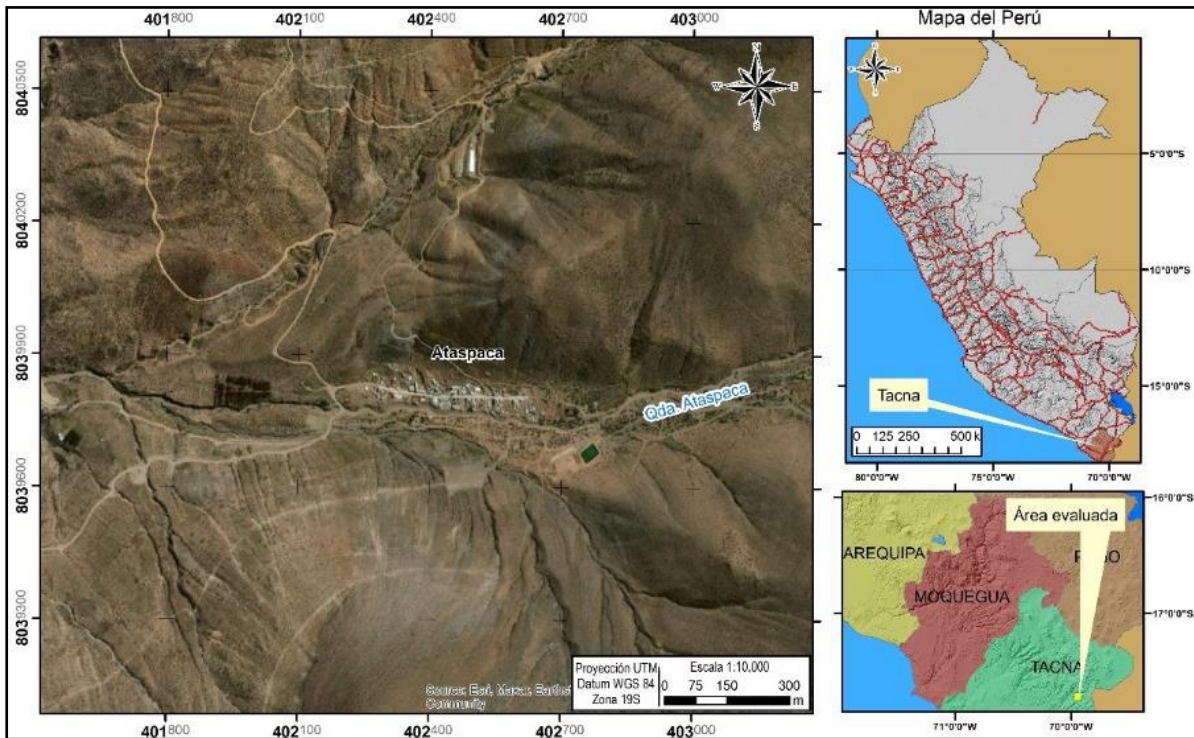


Figura 1. Ubicación de la comunidad campesina de Ataspaca



Fotografía 1. Comunidad campesina de Ataspaca.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la comunidad campesina de Ataspaca es por vía terrestre, partiendo desde Arequipa mediante la siguiente ruta:

Tabla 2. Ruta de acceso al área evaluada

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa – Tacna	Asfaltada	370	5 hora y 10 min
Tacna – Palca	Asfaltada	51.2	1 hora y 7 min
Palca - Ataspaca	Trocha carrozable	10	30 min

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). De acuerdo con datos de las estaciones meteorológicas Palca y Toquela, ubicado cerca al área evaluado. Cuyos valores de precipitación se muestran en las (figuras 2 y 3). Se visualiza una data de una ventana de tiempo de más de 25 años.

- En la estación de Palca, desde 1965 hasta 2014. La mayor precipitación es de aproximadamente 25 mm.
- En la estación de Toquela, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 25 mm.
- En los meses de agosto y setiembre de presente año, las precipitaciones no superan los 8 mm, (figura 4).

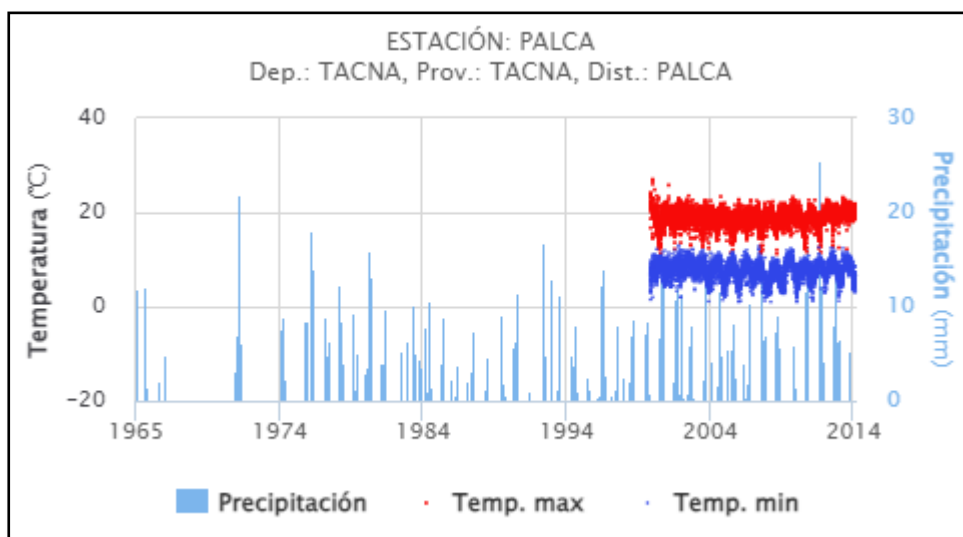


Figura 2. Precipitación diaria según la estación Palca. Fuente: Senamhi.

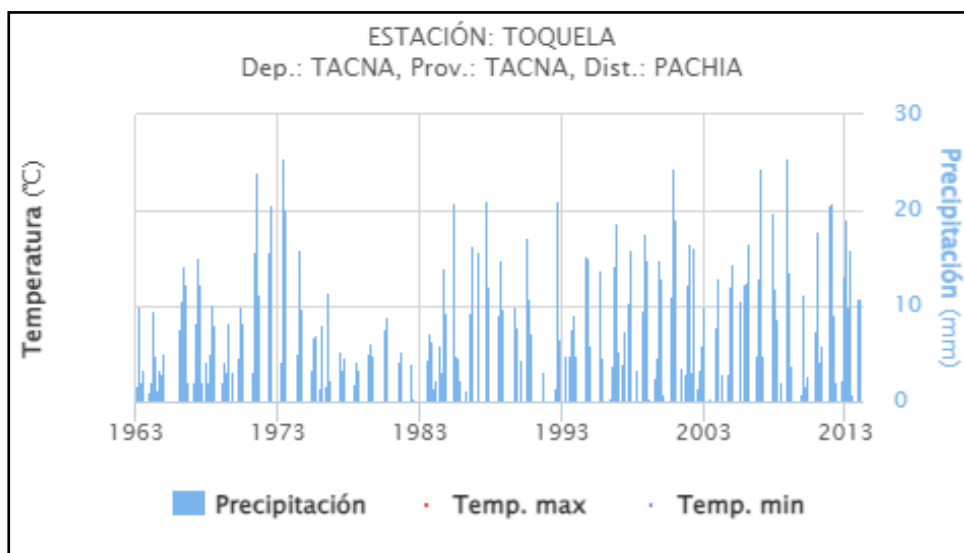


Figura 3. Precipitación diaria según la estación Toquela. Fuente: Senamhi.

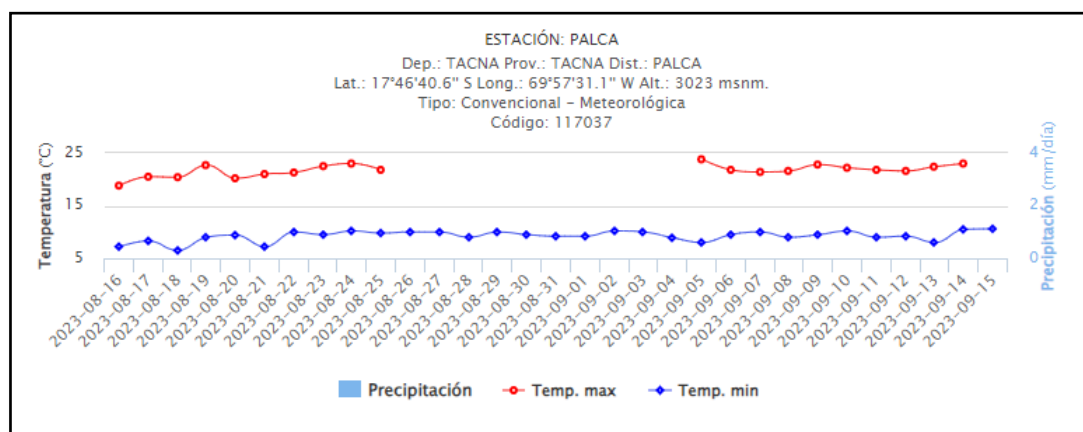


Figura 4. Precipitación diaria según la estación Palca, agosto y septiembre del 2023. Fuente: Senamhi.

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 informe se desarrollan terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. La terminología técnica utilizada, tiene como base el libro: "Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas" desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

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.

HUAICO: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

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

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

INUNDACIÓN: Las inundaciones son ocupaciones parciales o totales de agua que ocurren en una superficie que usualmente está seca y que podrían generar daños materiales y/o humanos. Son eventos producidos por fenómenos naturales como lluvias, derretimiento de nieve; o producidos por la actividad humana.

RIADA: es una crecida de un curso de agua que provoca que éste alcance un flujo muy superior al habitual. Por ese motivo, el lecho puede incluso no ser capaz de contener el agua, una particularidad que deriva en una inundación.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló con base a la Geología de los cuadrángulos Pachía y Palca Hoja 36-v & 36-x, escala 1:50,000. Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Oviedo, M.; & Rodríguez, J. (2011). Además, se empleó el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET, el cual es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos a escala 1:50 000.

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

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Formación Pelado (Ji-p3): Conformado por una intercalación de calizas gris oscura con limolitas oscuras en capas delgadas a medianas con presencia de fósiles; es una unidad moderadamente meteorizada y medianamente fracturada. Aflora al sur de la zona urbana de la comunidad campesina de Ataspa.

Formación Socosani (Jm-so): Compuesta por conglomerados, con clastos de caliza; presentan formas subangulosos con diámetros que alcanzan los 10 cm, matriz soportada cuya composición puramente calcárea presenta granos finos bien soldados. En los niveles inferiores se observan laminación oblicua y clastos aislados de caliza gris oscura. Asimismo, la parte basal contiene delgados niveles de margas y paquetes considerables de calizas estratocrecientes. A lo largo de estos afloramientos se aprecian ocasionales diques grises.

Es una unidad moderadamente meteorizada y medianamente fracturada. La unidad aflora al este de Ataspaca

Unidad intrusiva Challaviento (Pe-ch1-mdi.gd): Compuesta de granodiorita de textura porfírica a granular, constituida por minerales de cuarzo y feldespatos (ortosa), y minerales accesorios de biotita y ferromagnesianos.

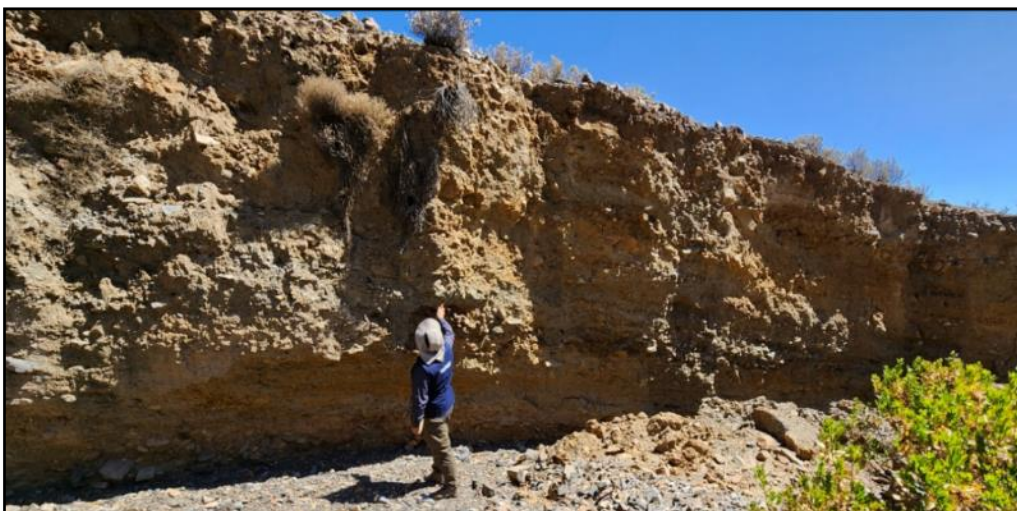
Esta unidad se encuentra moderada a altamente alteradas, principalmente por las plagioclasas, que van formando alteración argílica, caracterizada por la presencia de caolinita y/o montmorillonita (figura 5); por lo que son susceptibles a la formación de caídas de rocas y erosión por cárcavas.



Figura 5. Muestra la alteración argílica en las granodioritas.

Depósito aluvio-torrenciales (Qh-at): Se encuentra conformado por fragmentos rocosos subanguloso, heterométricos (guijarros, gravas y bloques) englobados en una matriz limo arenosoarcilloso, depositado en el fondo del valle de Ataspaca, los materiales provienen de las quebradas tributarios, conos de deyección y cárcavas. Ocupan las partes bajas del relieve montañoso. Corresponden a una intercalación de depósitos de flujos de detritos antiguos, aluviales y coluvio-deluviales.

Esta unidad presenta potencias de 5 a 8 m. los bloques poseen entre 0,05 a 5 m de diámetro, es un depósito no consolidado, (fotografía 2).



Fotografía 2. Depósito aluvio-torrencial, en el sector Ataspaca.

Deposito proluvial reciente (Qh-pl_r): Son depósitos provenientes de corrientes temporales de agua y lluvia, flujos de detritos (huaicos) y flujos de lodo, ocasionando acumulación de fragmentos rocosos y lodos a manera de conos en su desembocadura. Constituidos por gravas, arenas y limos; cuyos depósitos se encuentran no consolidados. Se encuentra en el cauce principal de la quebrada Ataspaca.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°), también se aprecian zonas medias de las laderas donde se observan cambios del terreno a pendientes muy fuertes a escarpados (25° - 45°), también en sectores encañonados los pendientes cambian a muy escapados ($>45^{\circ}$). (figura 6).

Se elaboró un mapa de pendientes con base en el modelo de elevación digital (DEM), de 25 cm de resolución, elaborado a partir de imágenes capturadas con dron (Anexo 1).



Figura 6. Pendientes en la comunidad campesina de Ataspaca.

Tabla 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno ($^{\circ}$)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte ha escapado
>45	Muy escarpado

4.2 Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos; teniendo geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos y depositacional o agradacional

Unidad de Montaña

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

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Esta subunidad, ocupa la mayor parte del área estudiada. Presenta cerros con laderas que presentan anticlinales y sinclinales, se encuentran erosionadas, las pendientes del terreno varían desde fuertes hasta muy fuertes (25° a 40°). Litológicamente está compuesta por secuencias de la Formación Socosani. En esta unidad se aprecian erosiones en cárcavas que aportan material al cauce de la quebrada Ataspaca.

Montaña en roca intrusiva (RM-ri): Relieve montañoso conformando por laderas de topografía abrupta, con pendientes que varían desde fuertes hasta muy fuertes (20° a 35°) y elevaciones que alcanzan los 3500 m s.n.m. Los cuerpos ígneos intrusivos se encuentran constituidos por la unidad intrusiva Challaviento.

Unidad de piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Es una planicie al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, con potencias de hasta 8 m. Presenta pendientes que varían entre moderados a fuertes (5° a 20°). En el área de estudio está representado por depósitos que se encuentran en la quebrada Ataspaca.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente (P-at_r): Es una planicie al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional, con potencias de hasta 1.8 m. Presenta pendientes que varían entre moderados a fuertes (5° a 20°). En el área de estudio está representado por depósitos que se encuentran en el cauce de la quebrada Ataspaca.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como por la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes (figura 7), que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas. Coadyuvado por la alternancia de rocas de diferente competencia.

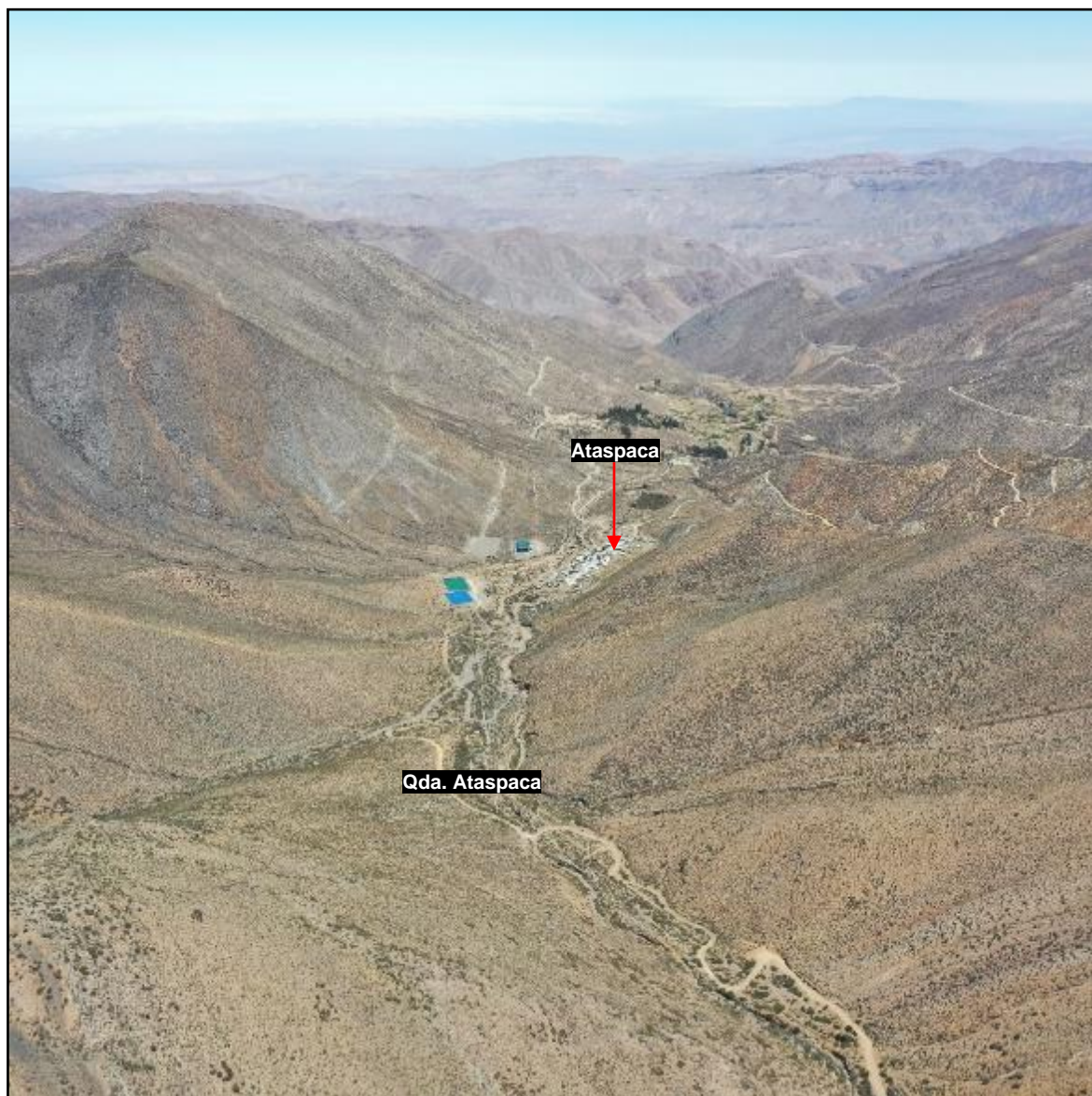


Figura 7. Quebrada Ataspaca

5.1. Flujo de detritos (huaico)

Los pobladores de la zona reportaron que el huaico más reciente descendió en febrero del 2019, a partir de lluvias que se dieron en la parte alta de la quebrada Ataspaca, (figura 8).

Durante los trabajos de campo efectivamente, en inmediaciones del sector denominado Peña Grande, se identificó un depósito de flujo de detritos (huaico), el cual presenta una potencia de 1.8 m. Conformado por bloques (35 %), gravas (40 %) y matriz limo-arcillosa (25%), (figura 9).

El depósito posee evidencias de imbricación (disposición preferencial de los fragmentos de roca con la dirección del flujo), además este está ligeramente compactado y presenta una superficie rugosa y presenta pequeñas burbujas. Los bloques poseen litología heterogénea, son bloques de calizas y fragmentos hidrotermalizados (figura 10).

En el sector el cauce de la quebrada posee entre 2 a 6 m de ancho, este va variando en base a las sinuosidades de la quebrada, (fotografía 3).



Fotografía 3. La zona urbana de la comunidad de Ataspaca está ubicado cerca del cauce de la quebrada del mismo nombre.

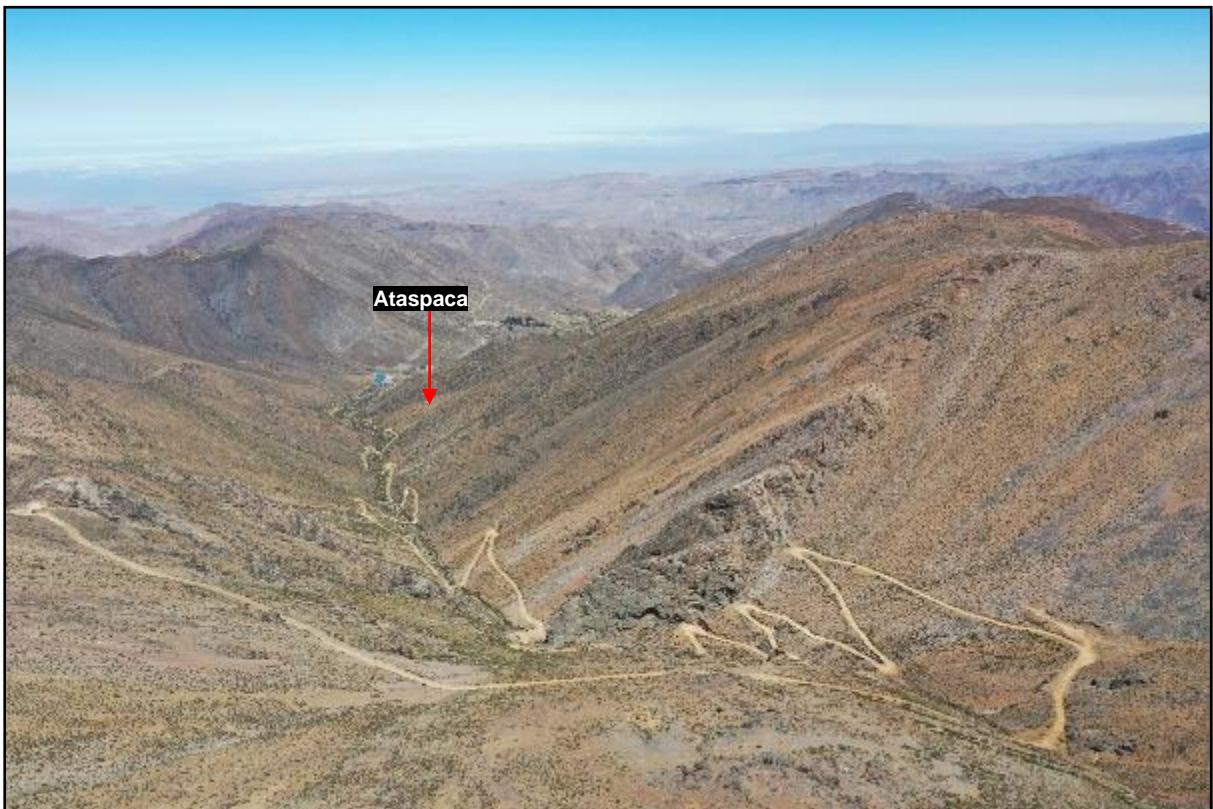


Figura 8. Muestra la naciente de la quebrada Ataspaca.



Figura 9. Depósito de flujo de detritos (huaico) en la quebrada Ataspaca parte alta.

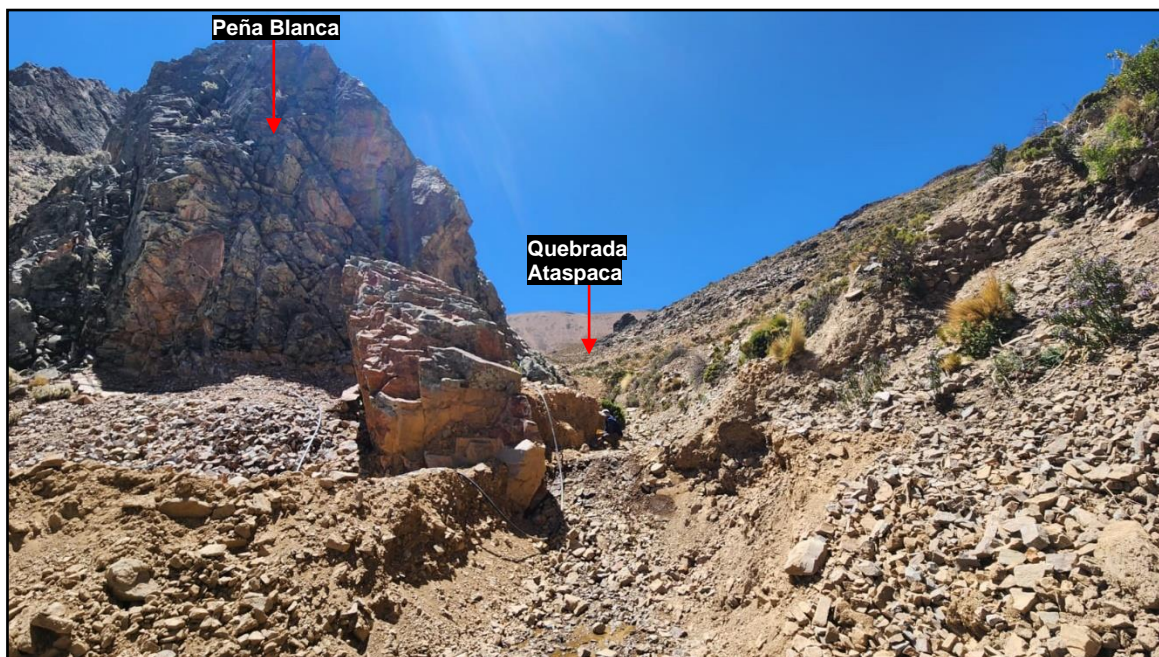


Figura 10. Flujo de detritos (huaico) en la quebrada Ataspaca parte alta.

La plaza de la zona urbana de la comunidad campesina de Ataspaca, se encuentra a 45 m del cauce actual de la quebrada, sin embargo existen viviendas ubicadas al borde del cauce.

En la observación de campo, se aprecia que el cauce está bien definido, presenta una profundidad de hasta 1.5 m, con un ancho que varía de 2 - 5 m. Además, el cauce es poco sinuoso, y se observan remanentes de depósitos de flujos antiguos, (figura 11).



Figura 11. Cauce de la quebrada Ataspaca.

5.2. Otros peligros geológicos - Procesos de erosión de ladera (cárcavas)

En el área de estudio las cárcavas aportan grandes cantidades de material, a los cauces de las quebradas, principalmente a la quebrada Ataspaca. Las precipitaciones de lluvia intensas aumentan el poder erosivo de las aguas, por tanto, las cárcavas sufren ensanchamiento y profundización, (fotografías 4 y 5). El material erosionado y desmovilizado es acumulado en la parte baja del cauce de las quebradas, aumentando el volumen y poder destructivos de los flujos de detritos.

En la comunidad campesina de Ataspaca, las cárcavas presentan entre 1 a 5 m de ancho y hasta 6 m de profundización (figuras 12 y 13).

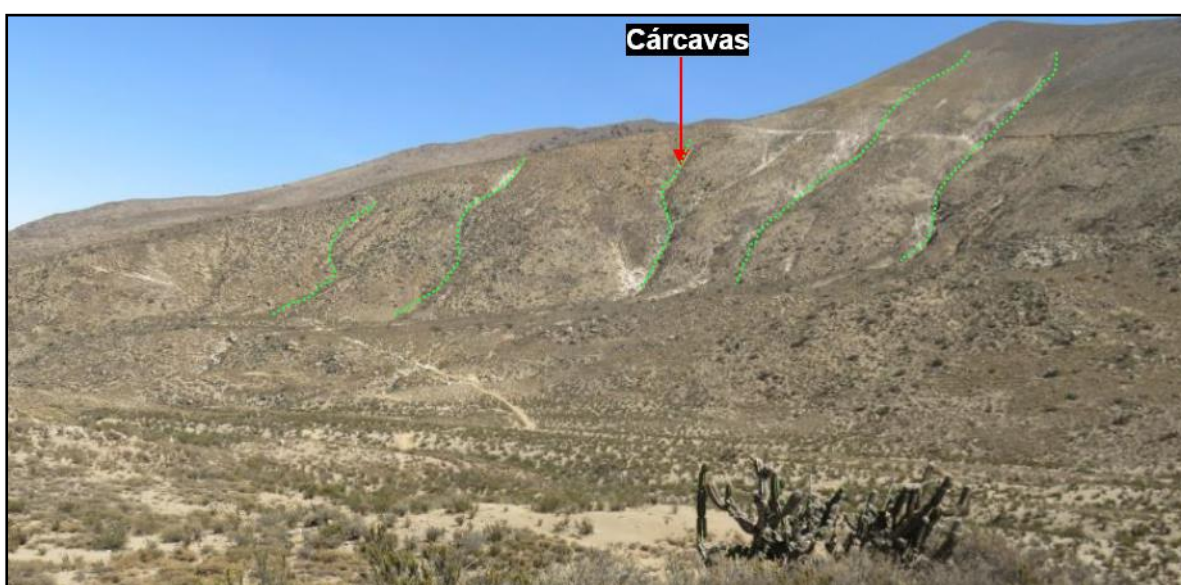


Figura 12. Cárcavas en las laderas de la quebrada Ataspaca.



Figura 13. Cárcavas en la margen derecha de la quebrada Ataspaca.



Fotografía 4. Procesos de erosión de ladera en la margen izquierda de la quebrada Ataspaca.



Fotografía 5. Procesos de erosión de ladera en la margen Derecha de la quebrada Ataspaca.

5.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú el periodo de lluvia en la sierra de Perú se registra entre los meses de diciembre a marzo). Según las estaciones de Palca y Toquepala, del SENAMHI, en el área de estudio se ha registrado un máximo de 25 mm. de precipitación.

5.4. Factores condicionantes

Los movimientos en masa por flujo de detritos (huaico) y los procesos de erosión de ladera, están condicionados por:

- Factor litológico. Presencia de conglomerados con clastos de caliza, no consolidado; granodiorita moderada a altamente meteorizadas. Además de depósitos cuaternarios (aluvio-torrenciales y proluviales) no consolidados.
- Factor geomorfológico. Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente, las dos últimas unidades poseen pendientes moderadas hasta fuertes (5° a 25°).
- Cobertura vegetal. En el área de estudio la cobertura vegetal es escasa, compuesta principalmente de arbustos y pastos nativos.

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.

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

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

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

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 trasporte 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 14), 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).

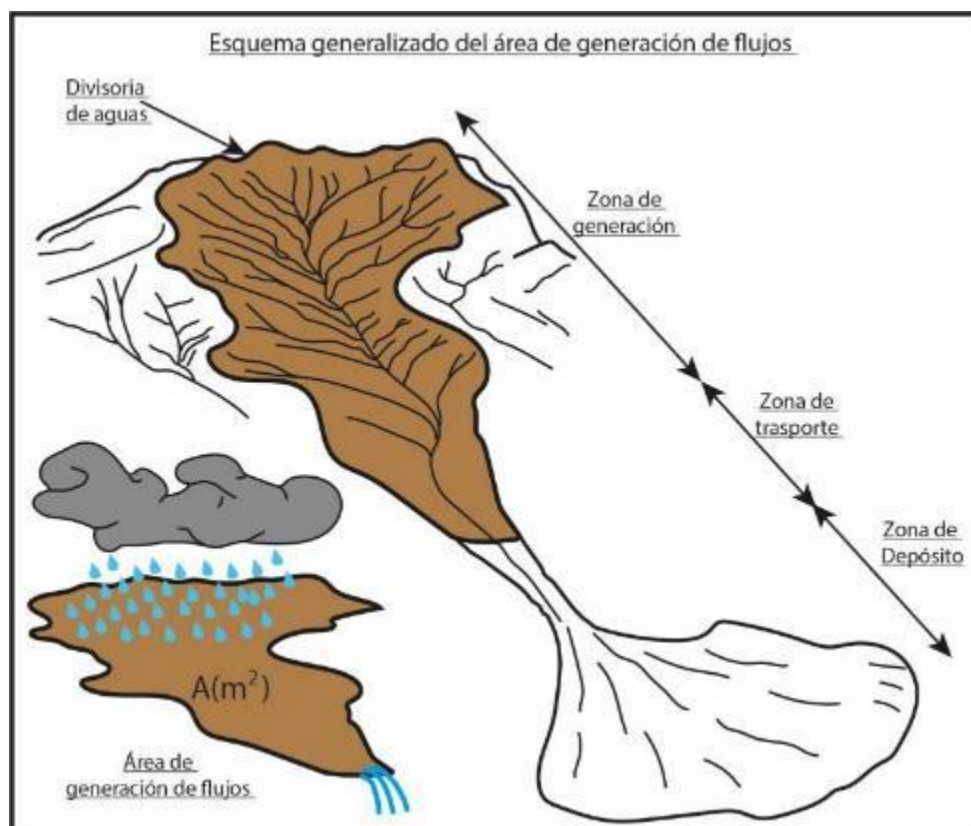


Figura 14. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

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 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (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 de 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 Ataspaca, 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 15).

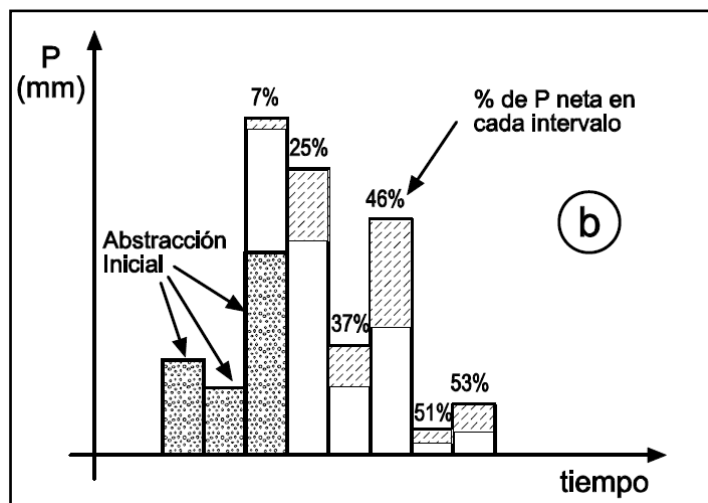


Figura 15. Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

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)
- Pn = precipitación neta
- Po = abstracción inicial o umbral de escorrentía.

Ahora que sabemos cómo determinar la precipitación neta Pn (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:

- Pn (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 Ataspaca, el área de generación del huaico mide 4342471 m², para una precipitación de 25 mm, por lo tanto, la precipitación neta fue de 13 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 142011 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, lo cual se emplea como herramienta principal en la ubicación de áreas idóneas para la reubicación de las localidades, (figura 16).

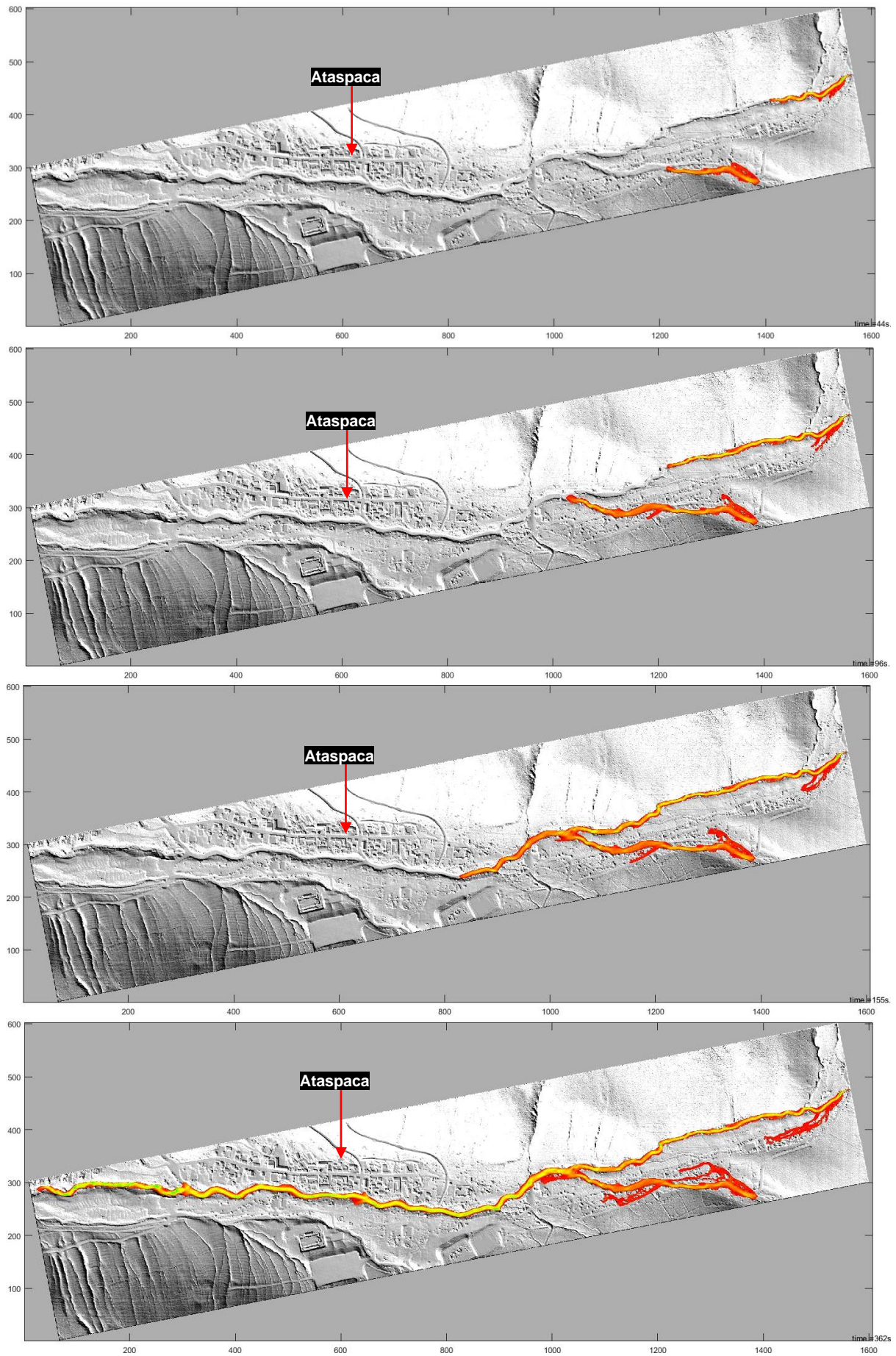


Figura 16. Resultados de la simulación de flujo de detritos en Ataspaca.

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, emitimos las siguientes conclusiones:

1. En el área de estudio los flujos de detritos (huaicos) se origina en depósitos retrabajados de calizas con limolitas, que provienen de secuencias moderadamente meteorizada y medianamente fracturada (Formación Pelado); conglomerados de caliza, con clastos subangulosos, poco consolidados, (Formación Sococani); granodiorita de textura porfiríticas a granular, que se encuentra moderada a altamente meteorizadas (unidad intrusiva Challaviento) y depósitos cuaternarios (aluvio-torrenciales y proluviales) no consolidados.
2. Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son montaña en roca sedimentaria, con pendientes que varían entre fuerte a muy fuerte (25° a 45°); montaña en roca intrusiva, ubicados en laderas con pendientes que varían entre fuerte a muy fuerte (20° a 35°); vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente, las dos últimas unidades poseen pendientes moderadas hasta fuertes (5° a 25°).
3. El principal peligro geológico en la comunidad campesina de Ataspaca, es por flujo de detritos (huaico). Este evento se presenta en temporadas de lluvias intensas y/o extraordinarias. En el cauce de la quebrada Ataspaca se ha encontrado un depósito de flujo de detritos poco consolidado, conformados por bloques (35 %), gravas (40 %) y matriz limo-arcillosa (25%).
4. Los condicionantes que originan los flujos de detritos (huaicos) y los procesos de erosión de ladera, están dados por: Factor litológico, presencia de conglomerados con clastos de caliza, no consolidado; granodiorita moderada a altamente meteorizadas y depósitos cuaternarios (aluvio-torrenciales y proluviales) no consolidados. Factor geomorfológico, representado por vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y vertiente o piedemonte aluvio-torrencial reciente, las dos últimas unidades poseen pendientes moderadas hasta fuertes (5° a 25°). Cobertura vegetal, en el área de estudio la cobertura vegetal es escasa, compuesta principalmente de arbustos y pastos nativos.
5. Según el modelo simulado, los flujos de detritos recientes presentan volúmenes de hasta 142011 m³, para precipitaciones pluviales de 25 mm. Considerando una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%). El flujo simulado se mantiene canalizado.
6. Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas mencionadas, se concluye que la comunidad campesina de Ataspaca es considerado de **PELIGRO MUY ALTO A ALTO Y ZONA CRITICA** frente a flujo de detritos (huaico).

8. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a flujos de detritos y procesos de erosión de ladera. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

1. Implementar un Sistema de Alerta Temprana (SAT) en la quebrada Ataspaca, 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.
2. Construir muros escalonados y/o enrocado en el cauce de la quebrada Ataspaca, con la finalidad de proteger las viviendas del poblado.
3. Implementar sistemas de disipación de energía de flujos, estos deben estar ubicados aguas arriba de la zona urbana de la comunidad Campesina de Ataspaca.
4. Reubicar las viviendas ubicadas al borde del cauce de la quebrada Ataspaca, y evaluar la posible reubicación del resto de viviendas, a una zona más segura, lejos del cauce de la quebrada.
5. 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.
6. Realizar una evaluación de riesgos (EVAR). Debe ser ejecutado por un evaluador de riesgos acreditado.



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



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Medina, L.; Gómez, H.; Santos, B.; Moreno, J. & Pari, W. (2021) - Estudio geoambiental en la cuenca del río Ocoña. INGEMMET, Boletín, Serie N: Línea de Base Geoambiental, 2, 222 p., 21 <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3167>

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

Quispesivana, P. (2001). Mapa geológico del cuadrángulo Chuquibamba (32-q). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET.

Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°64, 370 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). El mapa geológico integrado del Perú versión 2022, es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000, los cuales fueron realizados por cuadrantes de un área promedio de 650 km².

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2008). Peligros geológicos en el anexo Yacmes. Distrito Tipan, Provincia Castilla, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A5750, 37p.

Valdivia, M. (2017). Explotación del oro y caracterización microscópica del mineral para su recuperación óptima sostenible en la pequeña minería y artesanal del sur del Perú. Tesis para optar el título académico de magister en ciencias de la tierra – Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

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

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

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

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

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

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

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

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

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

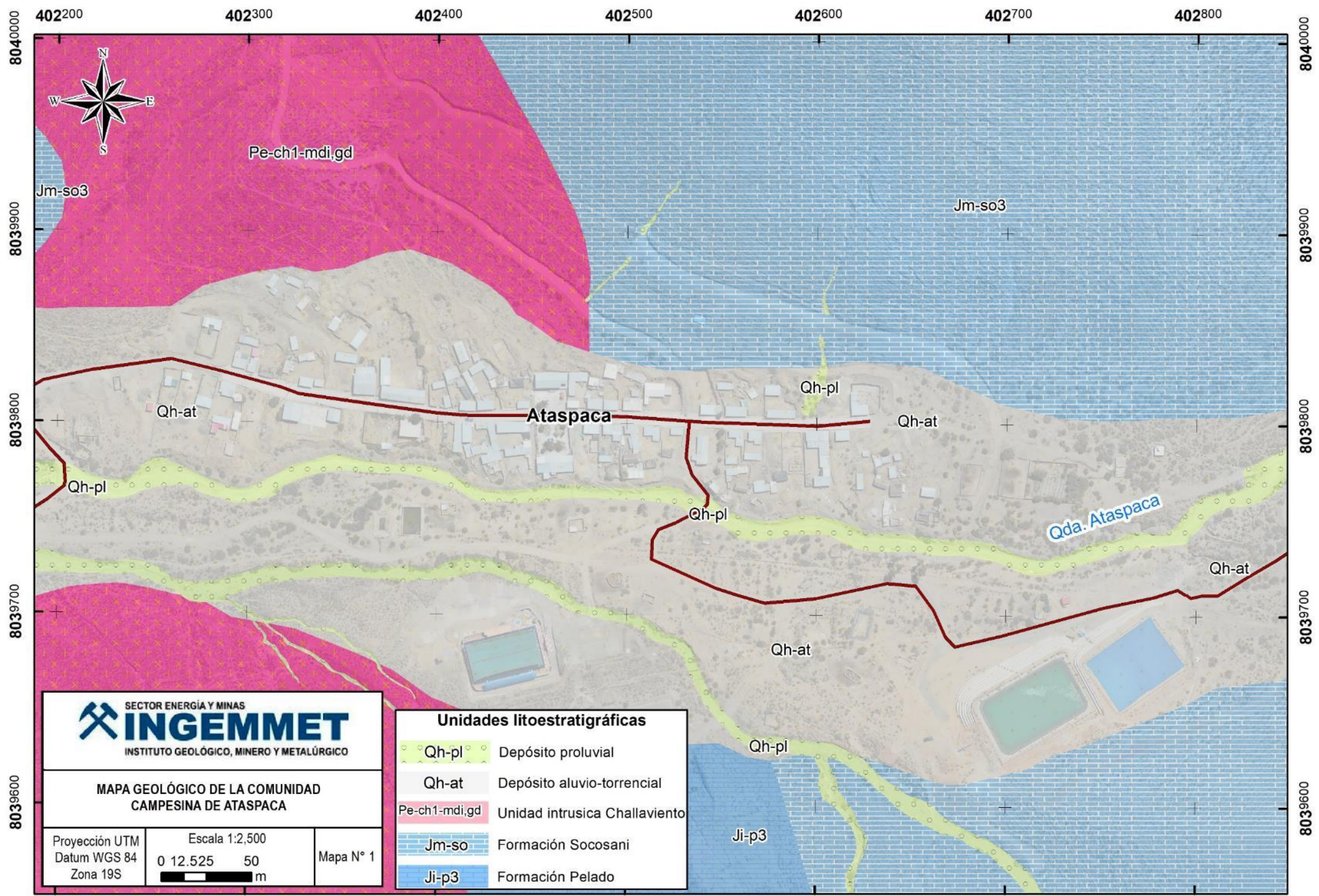
PATIÑO, J. (2007) Informe de inspección zona de deslizamiento de Yacmes-Tipan. Informe.

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

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

9. ANEXO: MAPAS

- **Mapa N°1.** Muestra el mapa geológico de la comunidad campesina de Ataspaca: Tomado y modificado de Quispesivana, P. (2001). y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET.
- **Mapa N°2.** Muestra el mapa de pendientes de la comunidad campesina de Ataspaca.
- **Mapa N°3.** Muestra el mapa geomorfológico de la comunidad campesina de Ataspaca: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°4.** Muestra el mapa de movimientos en masa para la comunidad de Ataspaca



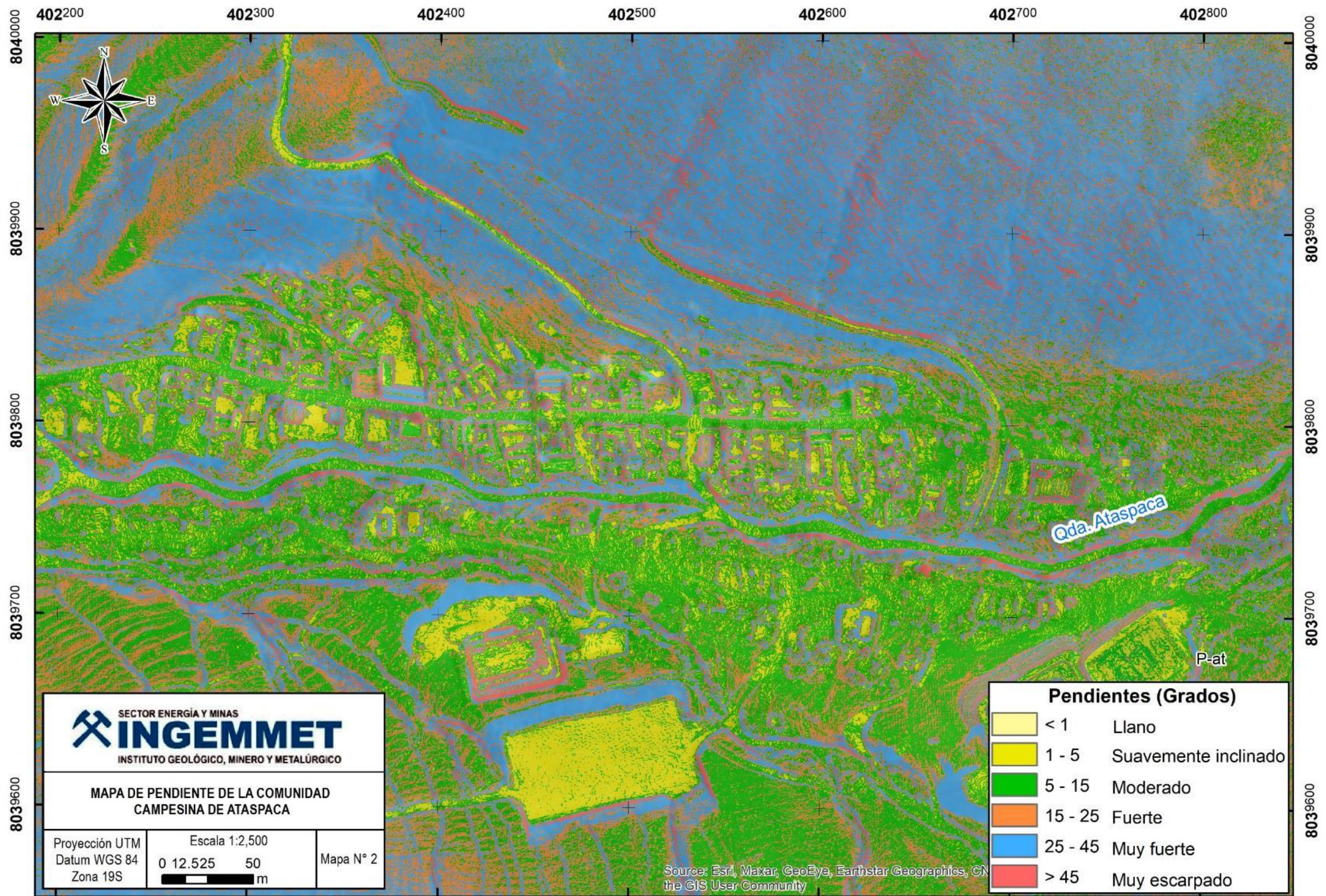
MAPA GEOLÓGICO DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ATASPACA

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 19S

Escala 1:2,500
0 12.525 50
m

Mapa N° 1

Unidades litoestratigráficas	
	Qh-pl Depósito proluvial
	Qh-at Depósito aluvio-torrencial
	Pe-ch1-mdi,gd Unidad intrusiva Challaviento
	Jm-so Formación Socosani
	Ji-p3 Formación Pelado



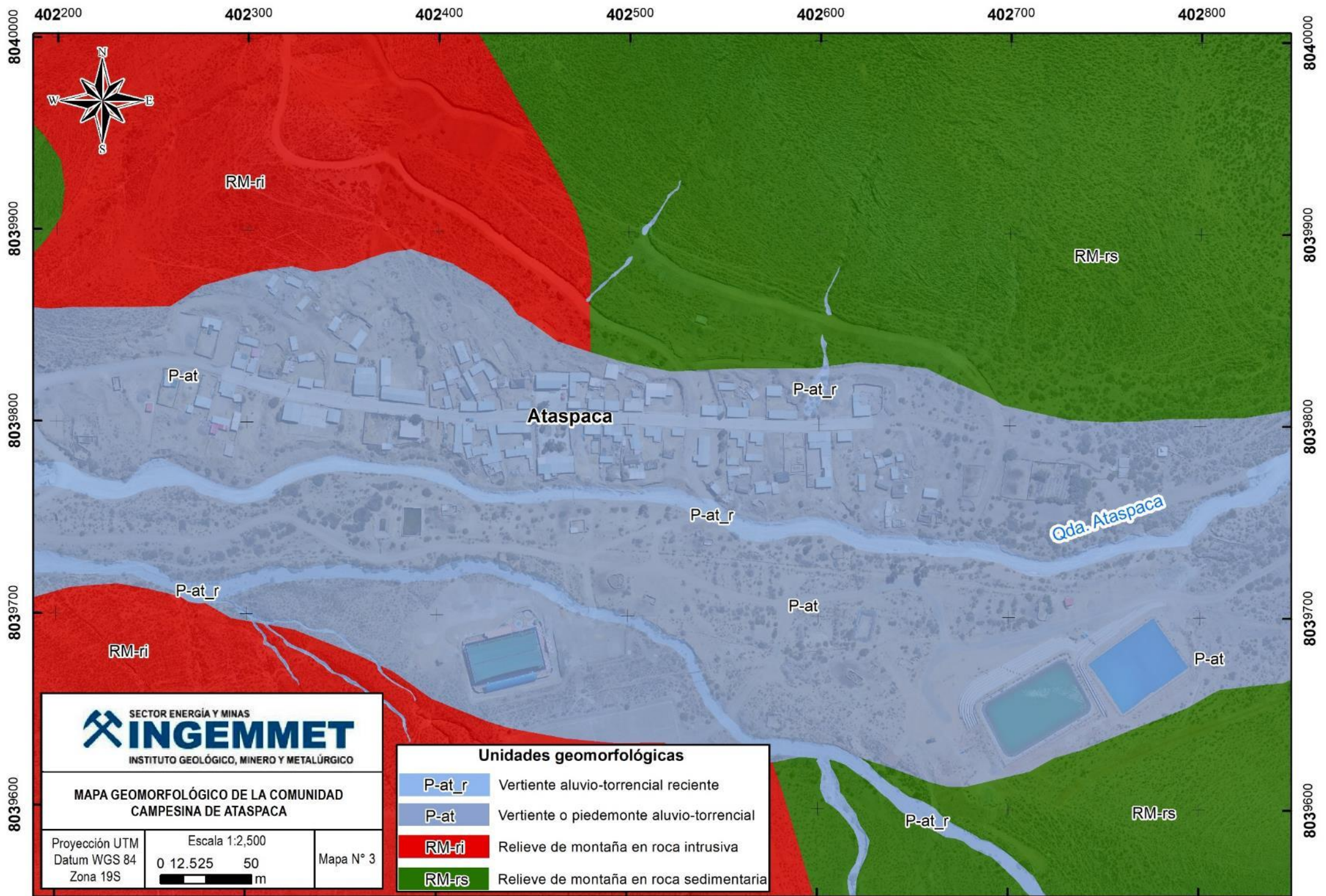

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

MAPA DE PENDIENTE DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ATASPACA

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 19S	Escala 1:2,500 0 12.525 50  m	Mapa N° 2
--	--	-----------

Pendientes (Grados)	
	< 1 Llano
	1 - 5 Suavemente inclinado
	5 - 15 Moderado
	15 - 25 Fuerte
	25 - 45 Muy fuerte
	> 45 Muy escarpado

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CN the GIS User Community



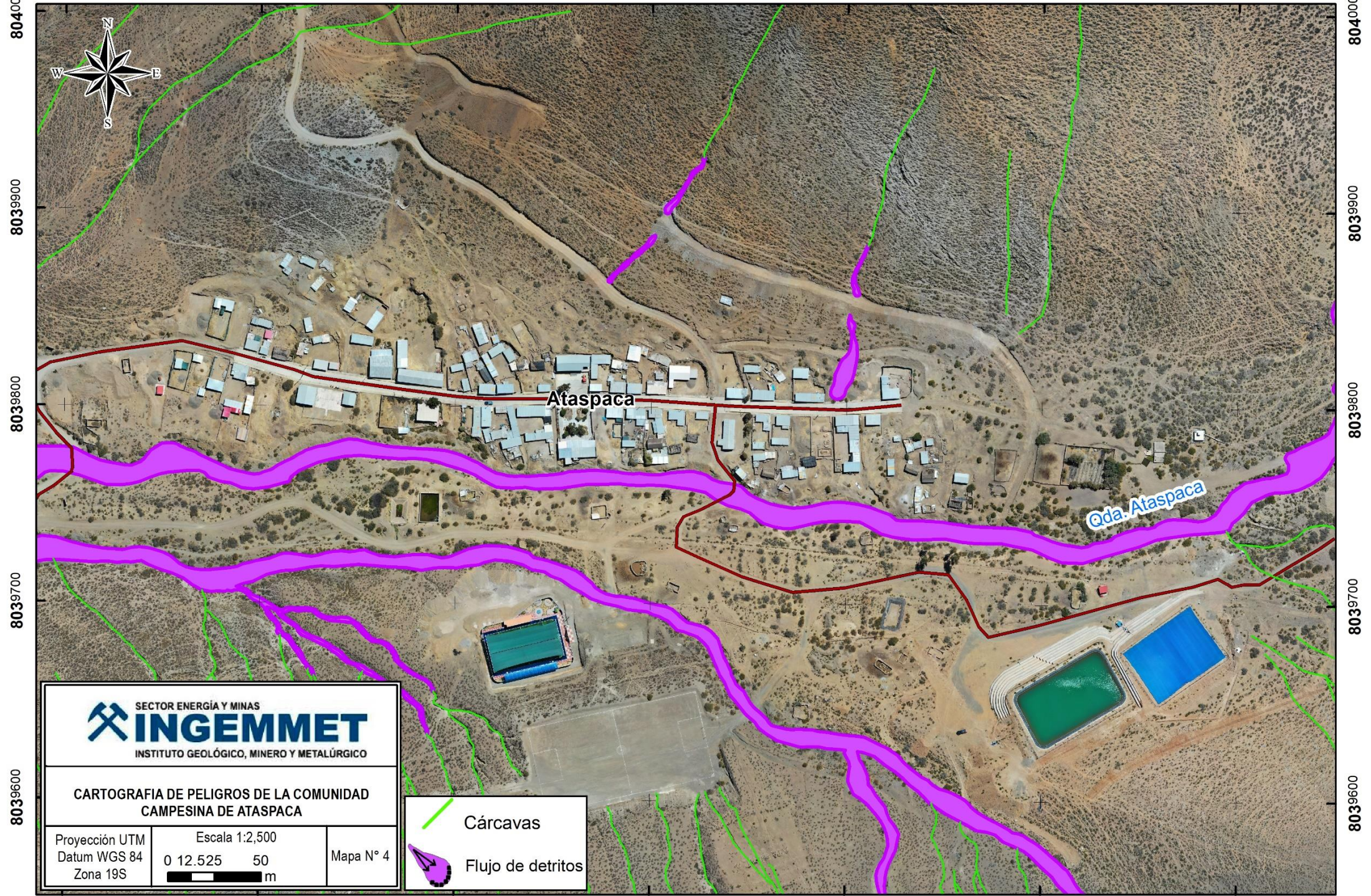
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA COMUNIDAD
 CAMPESINA DE ATASPACA**

Proyección UTM	Escala 1:2,500	Mapa N° 3
Datum WGS 84	0 12.525 50	
Zona 19S	m	

Unidades geomorfológicas	
	P-at_r Vertiente aluvio-torrencial reciente
	P-at Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
	RM-ri Relieve de montaña en roca intrusiva
	RM-rs Relieve de montaña en roca sedimentaria

402200 402300 402400 402500 402600 402700 402800



8039800

8039800

8039700

8039600

8040000

8039900

8039800

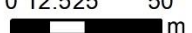
8039700


8039600


SECTOR ENERGÍA Y MINAS

 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

CARTOGRAFIA DE PELIGROS DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE ATASPACA

Proyección UTM	Escala 1:2,500	Mapa N° 4
Datum WGS 84	0 12.525 50	
Zona 19S	 m	

 Cárcavas

 Flujo de detritos