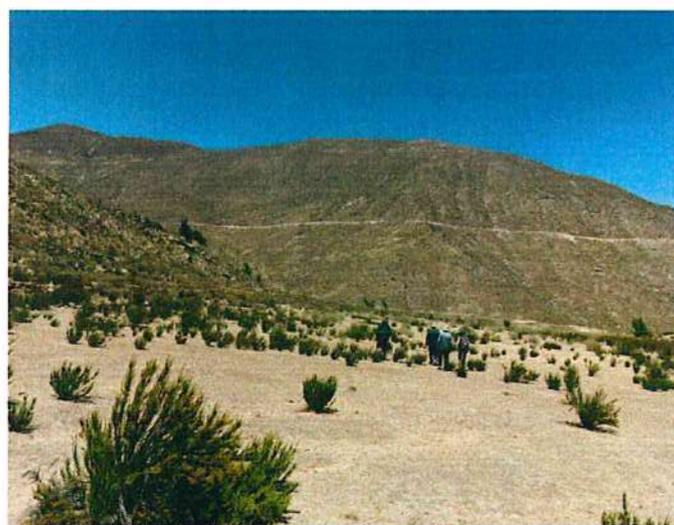
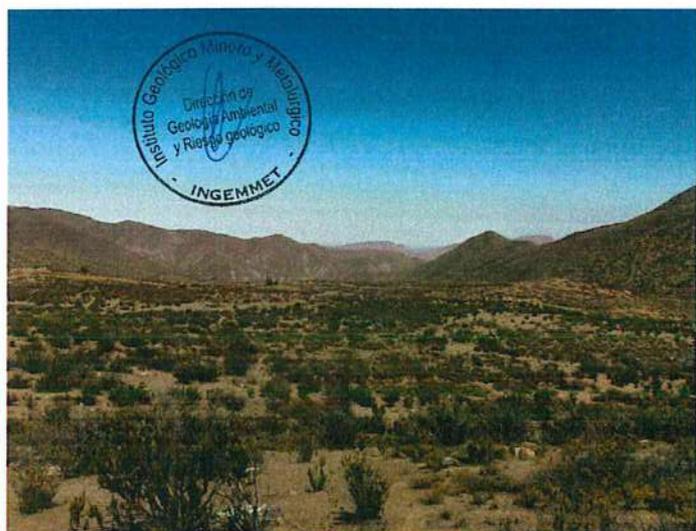


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6974

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA PROPUESTA PARA REUBICACIÓN DEL CENTRO POBLADO DE ATASPACA

Región Tacna
Provincia Tacna
Distrito Palca



NOVIEMBRE
2019

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Metodología de trabajo.....	2
1.2 Objetivo del estudio.....	2
2. GENERALIDADES.....	3
2.1 Ubicación y accesibilidad.....	3
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	4
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	7
5. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	8
5.1 Erosión de laderas (Cárcavas).....	8
5.2 Caída de rocas.....	12
5.3 Flujos de detritos (Huaicos).....	14
6. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LAS QUEBRADAS PRÓXIMAS A LA ZONA DE REUBICACIÓN DE ATASPACA.....	15
7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS.....	20
7.1 Para caída de rocas.....	20
7.2 Para cárcavas.....	22
7.3 Para los huaicos y/o flujos de detritos.....	25
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES.....	28
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

RESUMEN

El informe de inspección contiene datos de observaciones realizadas en la zona de acogida del centro poblado de Ataspaca, ubicados en el distrito de Palca, provincia y departamento Tacna.

En el área de estudio afloran secuencias volcánicas de la Formación Chocolate; así como rocas intrusivas de la unidad Challaviento conformadas por granodioritas y monzonitas. También afloran depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria. Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son, lomada en roca intrusiva y terrazas aluviales.

Según declaraciones de los pobladores, el 04 de febrero del 2019, se produce un huaico que afectó al centro poblado de Ataspaca, atribuido a las precipitaciones extraordinarias ocurridas ese día; concentradas en la cuenca alta de la quebrada Ataspaca.

De acuerdo a la inspección geológica y la evaluación de peligros geológicos al área propuesta para reubicación del pueblo de Ataspaca, se considera apta para vivienda; sin embargo, se deben desarrollar algunas medidas estructurales de prevención y/o mitigación, específicamente en las zonas donde ocurren procesos de erosión de laderas, caídas de rocas y huaicos; con el fin de controlar y manejar el impacto de estos procesos.

Se recomienda reforestar de laderas circundantes al área propuesta para reubicación, para evitar la erosión tipo cárcavas y prohibir la deforestación de la misma. Se debe retirar las rocas sueltas en las laderas colindantes al área propuesta. También se recomienda diseñar un canal hidráulico para la pequeña quebrada ubicada al norte del área propuesta, para evitar daños de presentarse lluvias excepcionales.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), dentro de sus funciones brinda asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología, que permite identificar, caracterizar, evaluar y diagnosticar aquellas zonas urbanas o rurales, que podrían verse afectadas por fenómenos geológicos que pudiera desencadenar en desastres; enmarcados dentro de la actividad 07 de asistencia técnica en evaluación de peligros geológicos a nivel nacional de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico.

El alcalde de la municipalidad distrital de Palca, mediante el oficio N° 203-2019-A-MDP/TACNA, de fecha 25 de abril del presente año, dirigido al presidente ejecutivo del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, solicita una evaluación técnica de la zona de acogida del centro poblado de Ataspaca, ubicados en el distrito de Palca, provincia y departamento Tacna.

Para la evaluación de peligros geológicos del sector mencionado, el INGEMMET, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, dispuso una brigada especializada conformada por los ingenieros, Jessica Vela y Yhon Soncco; desarrollada del 23 al 25 de septiembre del presente año.

1.1 Metodología de trabajo

La metodología para la elaboración del presente informe consta básicamente de recopilación bibliográfica, trabajos de campo y gabinete, las cuales se describen a continuación:

1.1.1. Recopilación bibliográfica y trabajos de gabinete

Recopilación de recursos bibliográficos de estudios anteriores realizados en la zona de estudio. Se elaboraron mapas de fotointerpretación, para ello se utilizaron imágenes satelitales Rapid-Eye y Landsat de los años 2018 - 2019.

1.1.2. Trabajos de campo

El trabajo de campo se realizó durante tres días; donde se realiza el cartografiado a detalle de peligros geológicos y fotogrametría a través de sobre vuelos con drone, para la obtención de fotografías panorámicas y un modelo de elevación digital con resolución de hasta 10 cm.

1.1.3. Trabajo de gabinete

Realización de simulaciones matemáticas de huaicos/lahares en quebradas próximos al sector de Pampa Ataspaca, modelados a partir de un DEM de 10 cm de resolución. Además de la elaboración de mapas de peligros geológicos y redacción de informe técnico.

1.2 Objetivo del estudio

- ✓ Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que podrían afectar la zona de estudio. Emitir recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros.

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio (Pampa Ataspaca) se localiza en el distrito de Palca, provincia y departamento de Tacna, en la margen derecha de la quebrada Ataspaca (figura 1); a 45 km en línea recta al noreste de Tacna.

La zona es accesible desde Tacna por la carretera asfaltada de Palca (figura 2), luego se continúa por una carretera afirmada hasta llegar al centro poblado de Ataspaca (figura 3).

Tramo		Km.	Tipo de vía	Duración (h)
Tacna	Palca	51.2	asfaltada	1.07
Palca	Ataspaca	10	afirmada	0.30

Coordenadas geográficas de la zona de estudio:

Zona de estudio	Coordenadas
Zona propuesta para reubicación	- 17°43'27.79"S
	- 69°56'23.93"O

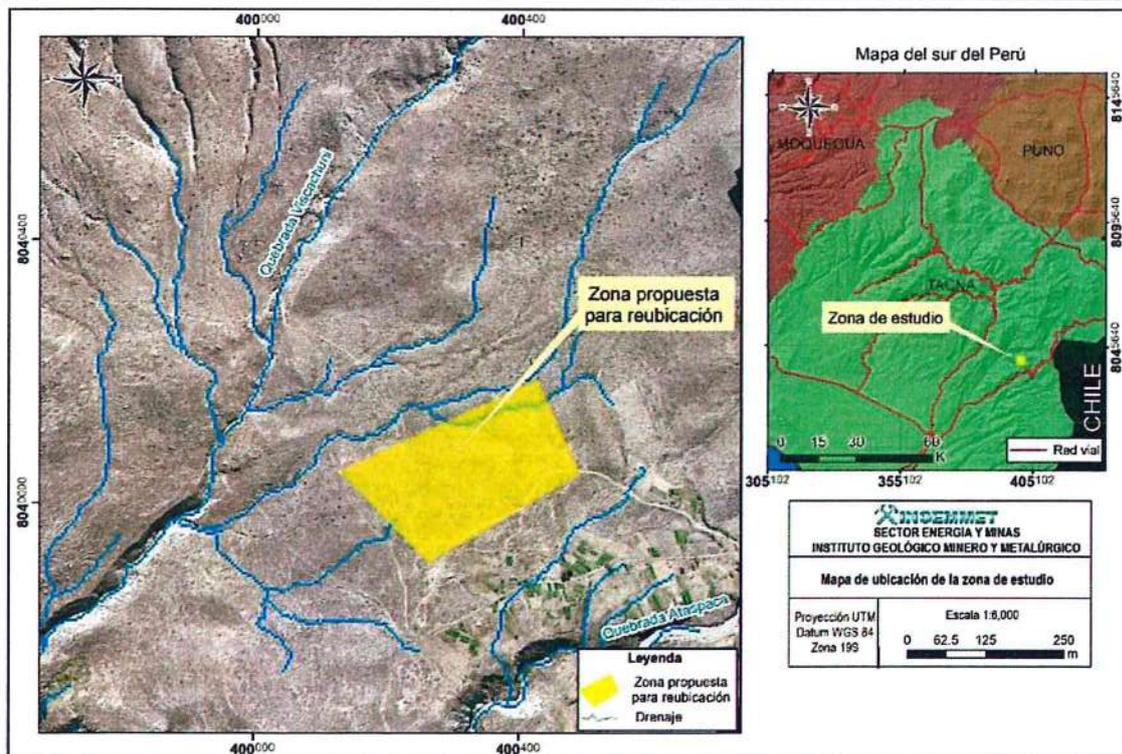


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.

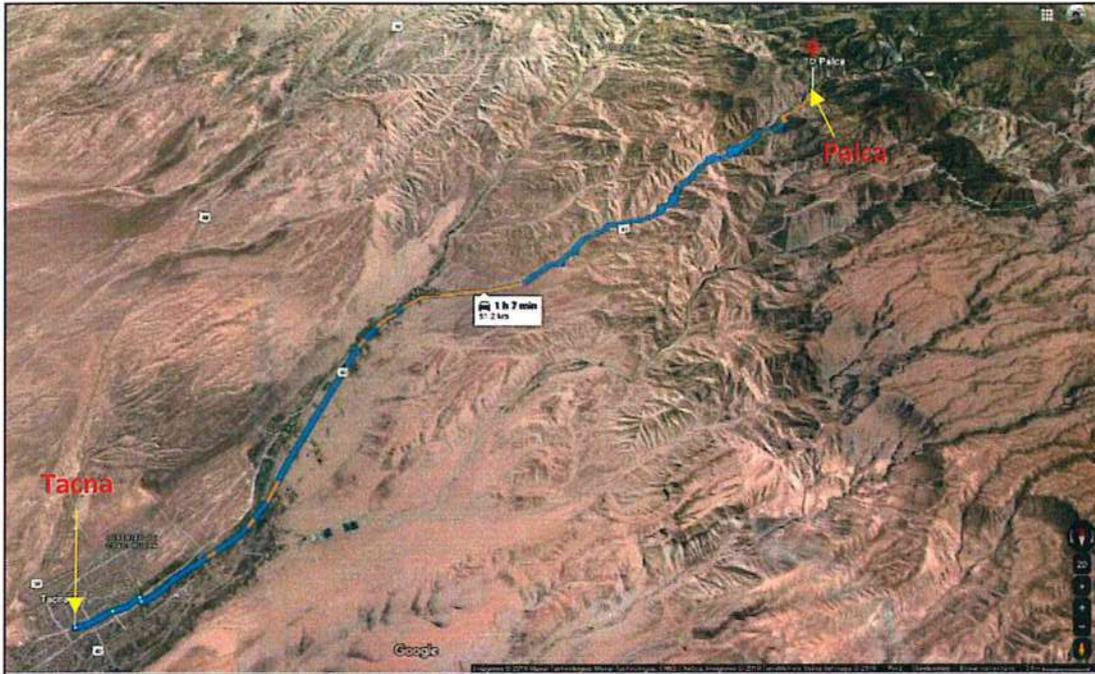


Figura 2. Ruta de acceso desde Tacna por la carretera asfaltada hasta Palca.



Figura 3. La ruta de acceso continua desde Palca por la carretera asfaltada, luego por una carretera afirmada hasta el centro poblado de Ataspaca.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Para el análisis geológico de la zona de estudio se tomó como referencia la geología descrita en el boletín N° 139 Serie A, denominado Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca (Hojas 36 - v y 36 - x) elaborado por H. Acosta, et al (2011).

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a secuencias volcánicas del Mesozoico, conformadas por la Formación Chocolate. La unidad más importante en la zona de estudio está representada por rocas intrusivas conformadas por granodioritas y monzonitas de la unidad intrusiva Challaviento de edad Eocénica (figura 4). También afloran depósitos aluviales y coluviales de edad cuaternaria.

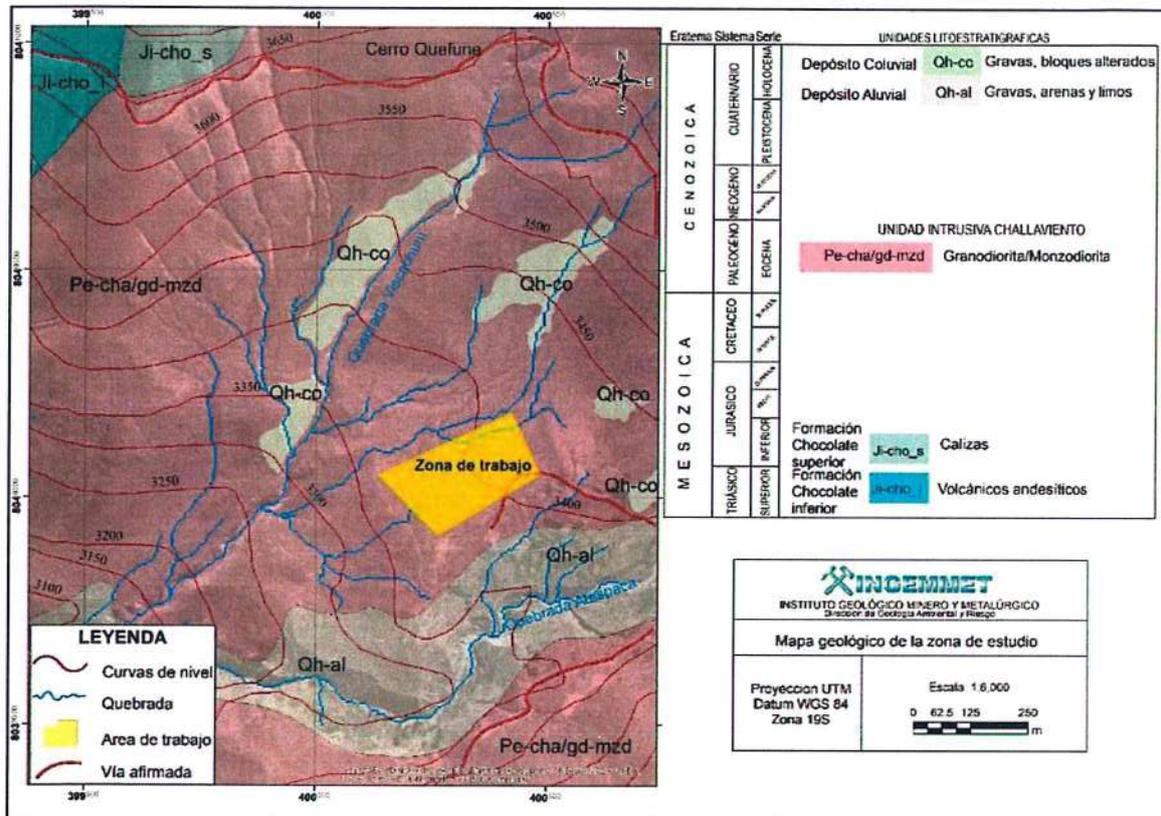


Figura 4. Mapa geológico de la zona de estudio, tomado del cuadrángulo de Palca. R. Monge y J. Cervantes (2000). Modificado en base al estudio de H. Acosta et al (2011).

a) Formación Chocolate inferior (Ji-cho_i):

Estos depósitos afloran al norte de la zona de estudio, formando los picos de las partes altas de los cerros en este sector (figura 5A), constituido por rocas volcánicas (coladas de andesitas basálticas y dacitas), de textura afanítica, color gris oscuro, dispuestos en estratos que varían desde 0,30 m a 4 m de espesor. Esta descripción corresponde a la parte superior de esta unidad, la que está limitada por una importante discontinuidad marcada por conglomerados de clastos subredondeados de las mismas rocas volcánicas subyacentes. Este límite marca el final de la actividad volcánica, donde posteriormente comienza la sedimentación en un ambiente continental y marino (H. Acosta, et al 2011). La edad de estas rocas es Triásico superior (Alván et al., 2010). Estos depósitos se presentan muy susceptibles a la generación de caídas de rocas y cárcavas.

b) Formación Chocolate superior (Ji-cho_s):

En el cerro Ticana y Palquilla ubicados al este del poblado de Palquilla, aproximadamente a 10 km al noroeste de la zona del presente estudio. H, Acosta, et al (2011) divide en tres partes al miembro superior de la formación Chocolate.

La primera sucesión compuesta por conglomerados con clastos volcánicos, erosionadas de la unidad volcánica del Grupo Chocolate inferior. La sucesión estratigráfica continúa con sedimentación repetitiva de capas conglomerádicas de 1 m a 3 m de espesor y decrecen granulométricamente a lutitas de color negro.

La segunda parte consiste de niveles grano decrecientes de arcosas y areniscas cuarzo feldespáticas de grano medio a fino, subangulosos y con laminaciones oblicuas de canal.

Finalmente, la parte superior de este miembro, está constituida por sedimentos de plataforma carbonatada y sedimentos marinos muy someros, aflora en la parte alta de los cerros localizados al norte de la zona de estudio, formando picos (Figura 5A).

Estos depósitos son susceptibles a generar caídas de rocas y erosión de laderas tipo cárcavas.

c) Super unidad Challaviento (Eoceno medio):

Es la unidad litoestratigráfica más importante dentro de la zona de estudio. Fue descrito por Sanchez (1983), como Plutón de Tarata y Ataspaca. Aflora al norte y Nor este de Palca a lo largo del sistema de fallas Incapuquio con dirección promedio NO-SE.

La zona de estudio se encuentra dentro de esta unidad, el cual principalmente está 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 moderadamente a altamente alteradas principalmente por las plagioclasas, que van formando alteración argílica, caracterizada por la presencia de caolinita y/o montmorillonita (figura 5B); por lo que son susceptibles a la formación de caídas de rocas y erosión por cárcavas.



Figura 5. A) muestra la relación de los depósitos de ambos miembros de la formación Chocolate y la unidad intrusiva Challaviento. B) Muestra la alteración argílica en las granodioritas.

d) Depósitos Aluviales:

A lo largo del valle de la quebrada Ataspaca se distinguen varios niveles de terrazas aluviales que conforman espesores de 5 a 25 m (figura 6). Litológicamente está conformado por una gran variedad de gravas, bloques (0,05 a 5 m de diámetro) y fragmentos subredondeados y subangulosos, englobados dentro de una matriz limo arcillosa poco compactada.

e) Depósitos Coluviales:

En la zona de estudio los depósitos coluviales se encuentran adosados en el cambio de pendientes entre la zona de Pampa Ataspaca y los cerros que colindan con la zona de acogida. Los depósitos coluviales están conformados por bloques de roca volcánica e intrusiva, depositados en laderas producto de las caídas de rocas en las partes altas.



Figura 6. Muestra los afloramientos de los depósitos aluviales en la quebrada Ataspaca.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Las principales unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio son lomadas en roca intrusiva y terrazas aluviales.

4.1 Unidad de Lomadas

La zona de estudio se encuentra ubicado sobre pequeñas lomadas con relieve ondulados, ubicado en la ladera derecha del valle de Ataspaca, cuyas pendientes de ladera se encuentran entre 10° a 25°. Así mismo, la lomada donde se encuentra la zona de estudio posee un relieve con cimas ligeramente onduladas y con pendiente entre 10-15°.

Subunidad de Lomada en roca intrusiva: Esta subunidad geomorfológica posee un relieve ondulado, con pendientes entre 10-15° (figura 7). La zona también tiene pequeñas lomadas que alcanzan alturas menores a los 10 m respecto al nivel de base local. La zona está cubierta por material proveniente de las partes altas, posee un suelo de hasta 30 cm de espesor.

4.2 Unidad de Planicies

La zona de estudio se encuentra ubicado al fondo del valle de Ataspaca, formando planicies poco inclinadas, con relieve llano, la zona pose pendientes de hasta 10°.

Subunidad de Terraza aluvial: Esta subunidad geomorfológica tiene un relieve plano, con pendiente suave entre 5 - 10° (figura 7). Litológicamente está compuesto de gravas y arenas, básicamente depósitos aluviales. Sobre las terrazas aluviales se ubica el área agrícola Pampa Ataspaca.



Figura 7. Lomada en roca intrusiva y terrazas aluviales en la zona de Pampa Ataspaca.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Se han identificado peligros geológicos por procesos de erosiones de ladera y caídas de roca (figura 8).

5.1 Erosión de laderas (Cárcavas)

Las cárcavas son zanjas, provocados por el agua de lluvia que corre sobre el suelo, llevándose así grandes cantidades de tierra. Al principio la cárcava es solamente un pequeño surco, que apenas se ve en el terreno. Con el paso del tiempo estos surcos se vuelven más grandes y profundos por causa del agua de lluvia, que arrastra la tierra suelta de los surcos (figura 9).

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos, sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación.

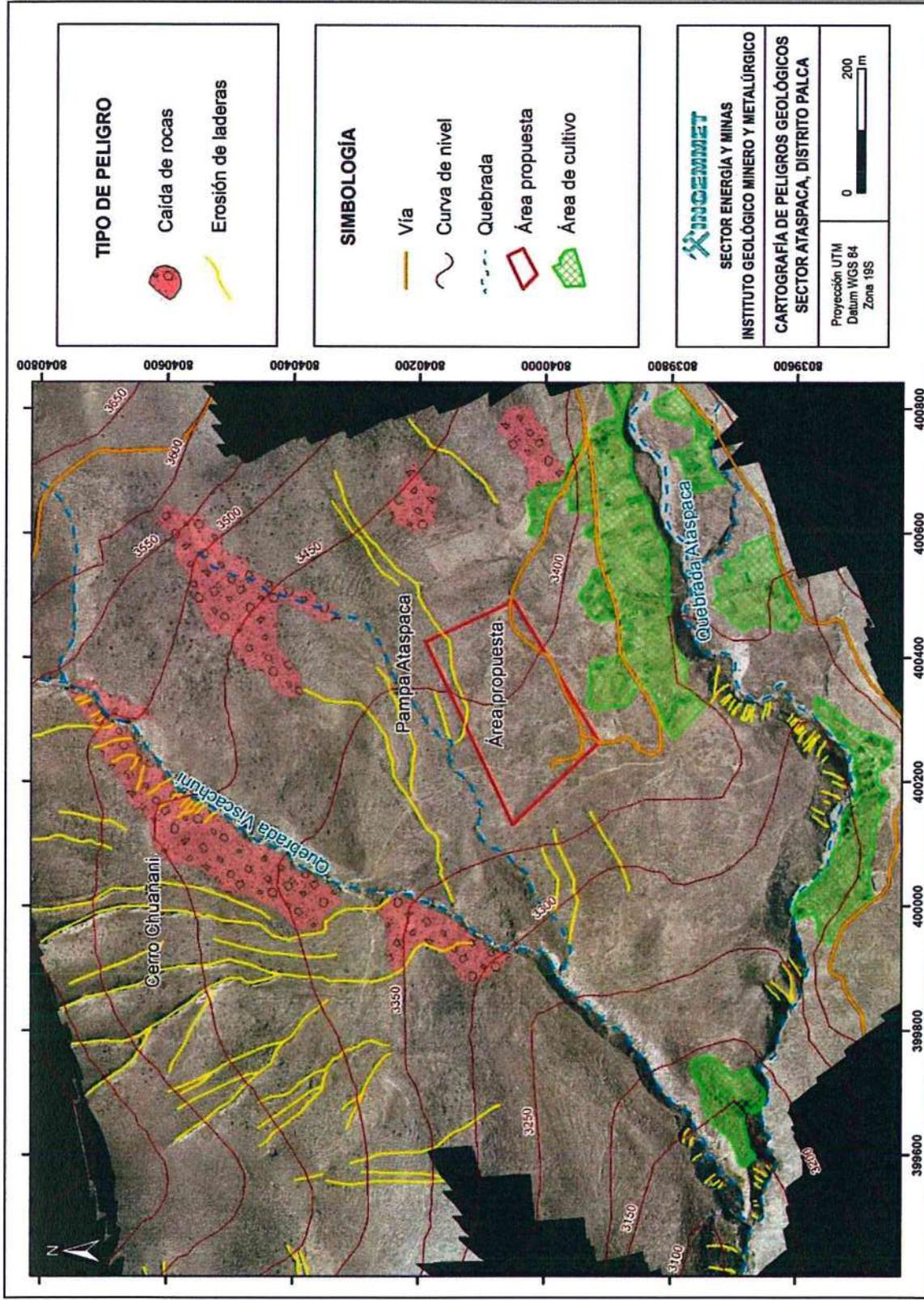


Figura 8. Mapa de peligros geológicos del sector de Ataspaca.

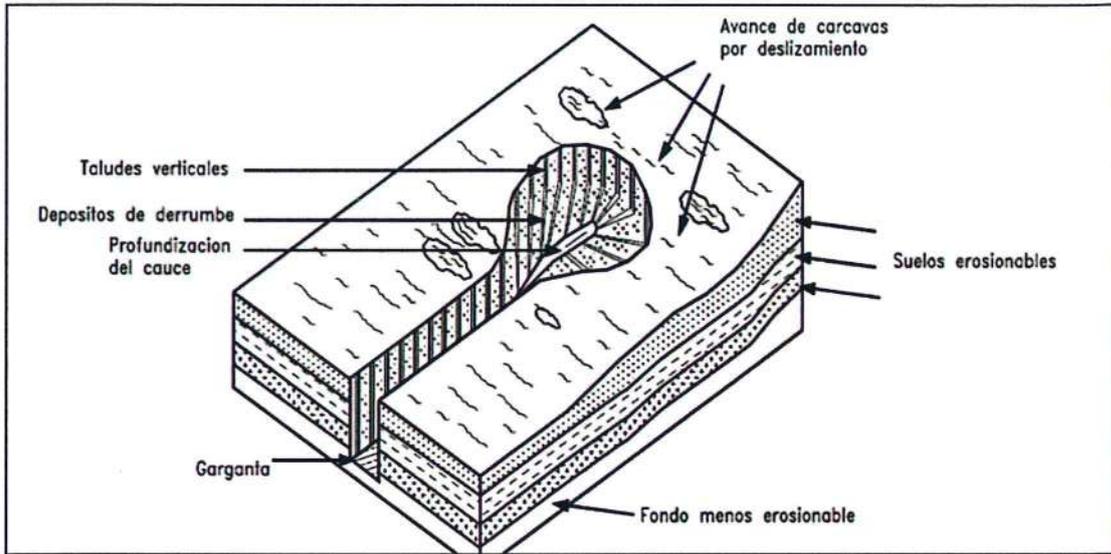


Figura 9. Esquema general de las cárcavas (Suarez, 1998).

En el cerro Chuañani, margen izquierda de la quebrada Viscachuni, se ha observado procesos de erosión de laderas en forma de cárcavas y surcos (figura 10). En este sector las cárcavas tienen un ancho de hasta 5 m y profundidades de hasta 4 m aproximadamente. Asimismo, colindando al área propuesta, sobre la Pampa Ataspaca, también se ha observado cárcavas que tienen hasta 3 m de ancho y 2 m de profundidad (figura 11).

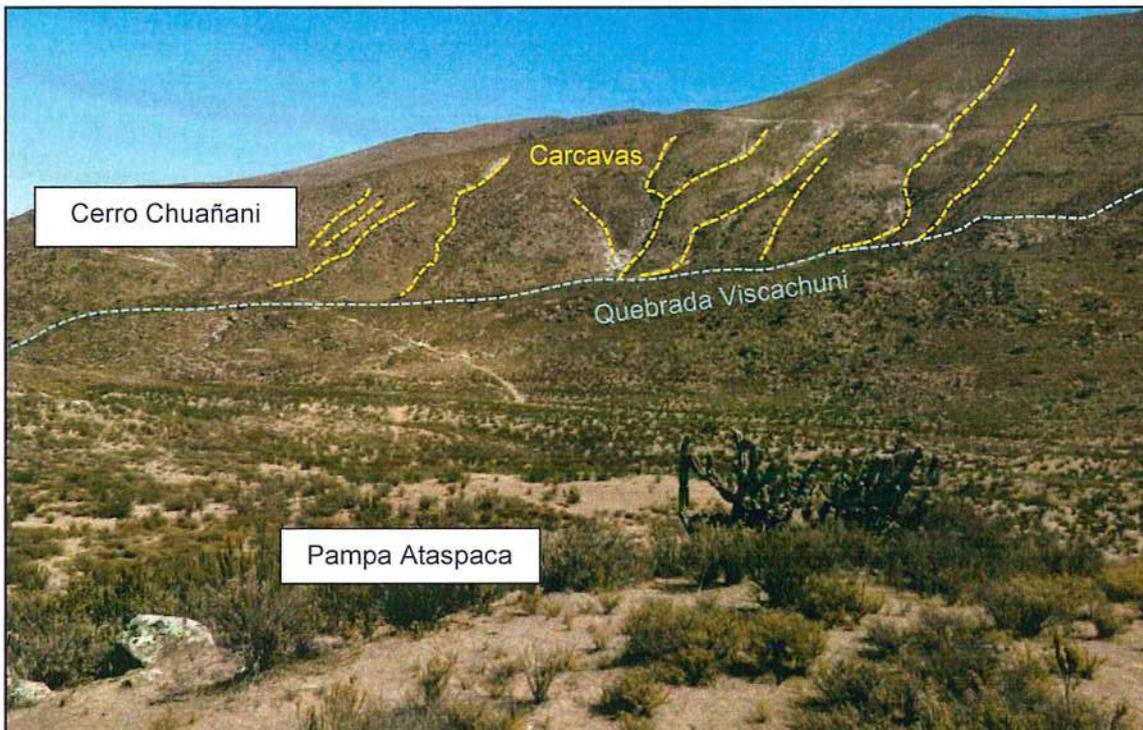


Figura 10. Erosiones de ladera a manera de surcos y cárcavas en laderas del cerro Chuañani.

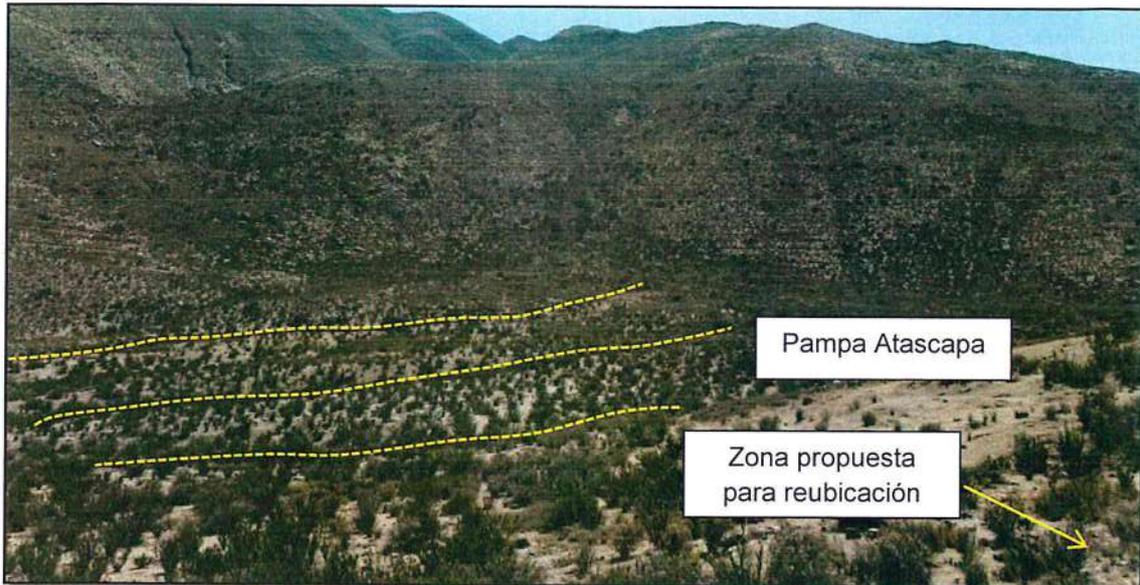


Figura 11. Se observan procesos de erosiones de ladera sobre la Pampa Atascapa.

En los sectores donde ocurren los procesos de erosión de ladera, se ha observado que las rocas intrusivas se encuentran con moderada a intensa meteorización y presentan alteración argílica de colores blanquecinos conformados por acillas (caolín), (figura 12). La roca meteorizada es de fácil remoción ante intensas precipitaciones pluviales, aunado al factor geomorfológico del terreno de laderas con pendientes superiores a los $>25^\circ$ favorecen la ocurrencia de la escorrentía pluvial, originando la profundización y ensanchamiento de las cárcavas (desprendimiento y remoción paulatino del suelo).

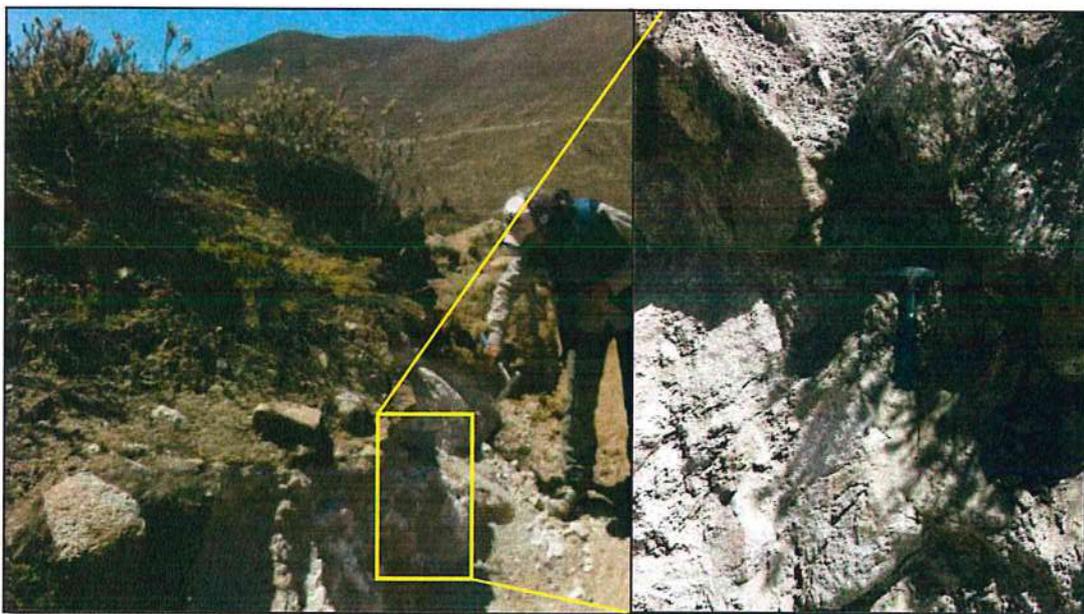


Figura 12. Roca intrusiva granodiorita con alteración argílica de color blanquecina.

Condiciones para la formación de cárcavas en Atacapaca:

- Roca intrusiva con moderada a intensa meteorización que produce desestabilización en el macizo rocoso.
- Pendiente del terreno, comprendida entre 25° a 35°.
- Escasa cobertura vegetal compuesta principalmente de arbustos y pastos.

Desencadenantes:

- Precipitaciones pluviales intensas.

5.2 Caída de rocas

Las caídas de rocas son recurrentes en la zona de estudio, debido a las características de fracturamiento de la roca a favor de la pendiente, formación de cuñas y bloques suspendidos.

En las laderas se puede observar bloques de rocas que se desprendieron durante eventos antiguos (figura 13); los mismos que fueron afectados por procesos de meteorización han ido formando fragmentos de rocas con tamaños que varían entre 0.40 m. a 1 m., con predominio de los comprendidos entre 0.50 m a 60 cm; así también se aprecian bloques más grandes de hasta 4 m de diámetro subredondeados a subangulosos.

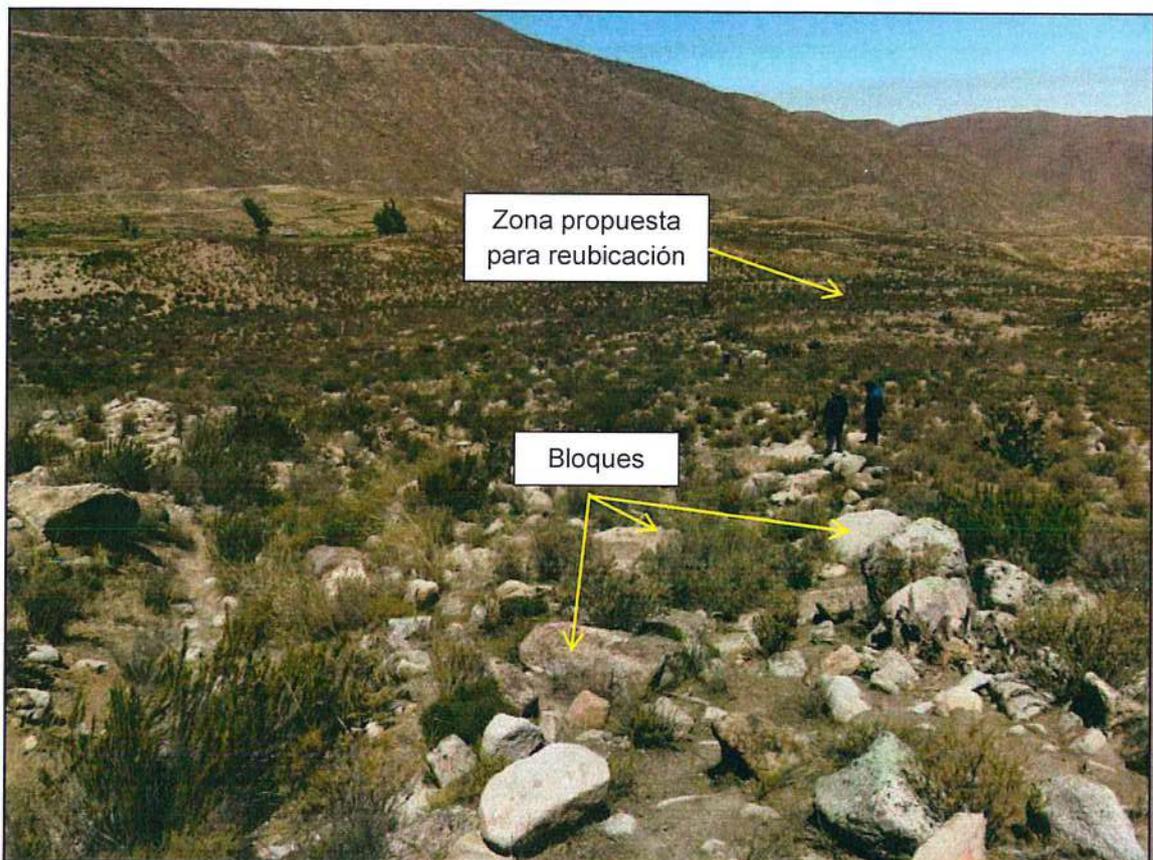


Figura 13. Bloques de caídas de rocas antiguas, ubicados en la ladera que colinda a la zona propuesta.

De tal forma en el sector con coordenadas (8040379 N; 400473 E), se puede observar un montículo rocoso, conformada por rocas intrusivas que sobresalen en la ladera del cerro (figura 14). El afloramiento se encuentra fracturado y separado en bloques con puntos de apoyos comunes que los sostiene entre sí y espaciados entre 0.30 hasta 1 m.

Durante las precipitaciones pluviales el agua acumulada puede generar efectos como variaciones de volumen en los rellenos o aumento de presiones entre fisuras preexistentes, removiendo los suelos o materiales naturales que puedan funcionar de forma cohesiva, empujando y hacer desprender las rocas por gravedad.



Figura 14. Montículo rocoso fracturado sobresaliendo a la ladera del cerro.

Los factores condicionantes y desencadenantes para ocurrencia del evento son:

Condicionantes

- Morfología de laderas empinadas con pendientes superiores a 25°.
- Macizo rocoso alterado y fracturado.

Desencadenantes

- Precipitaciones pluviales intensas.
- Eventos sísmicos

5.3 Flujos de detritos (Huaicos)

En el extremo norte de la zona propuesta para reubicación, se observa una pequeña quebrada (sin nombre) que tiene un cauce de 2 m de ancho y una longitud de 285 m (figura 15). Dentro de la quebrada se observa gravas compuestas por rocas intrusivas de hasta 5 cm de diámetro, de formas redondeadas a subredondeadas transportadas desde la parte alta de la quebrada en tiempo de lluvias; así también se observa bloques de hasta 4 m de diámetro, que provienen de la parte alta de las colinas.

En su desembocadura la quebrada forma un abanico con una longitud de 150 m, donde se encuentran antiguos depósitos de avalanchas de rocas, sobre las cuales discurren algunas escorrentías recientes.

Las causas para la generación de huaicos en esta quebrada son: pendiente de las colinas, que varían de 20° a 30°, la presencia de material aportante de roca intrusiva meteorizada y suelo suelto en las laderas producto de las erosiones.

El factor desencadenante para la formación de huaicos son las precipitaciones pluviales; las mismas que pueden arrastrar depósitos de flujos hasta la Pampa Atascapa y parte norte de la zona propuesta para reubicación.

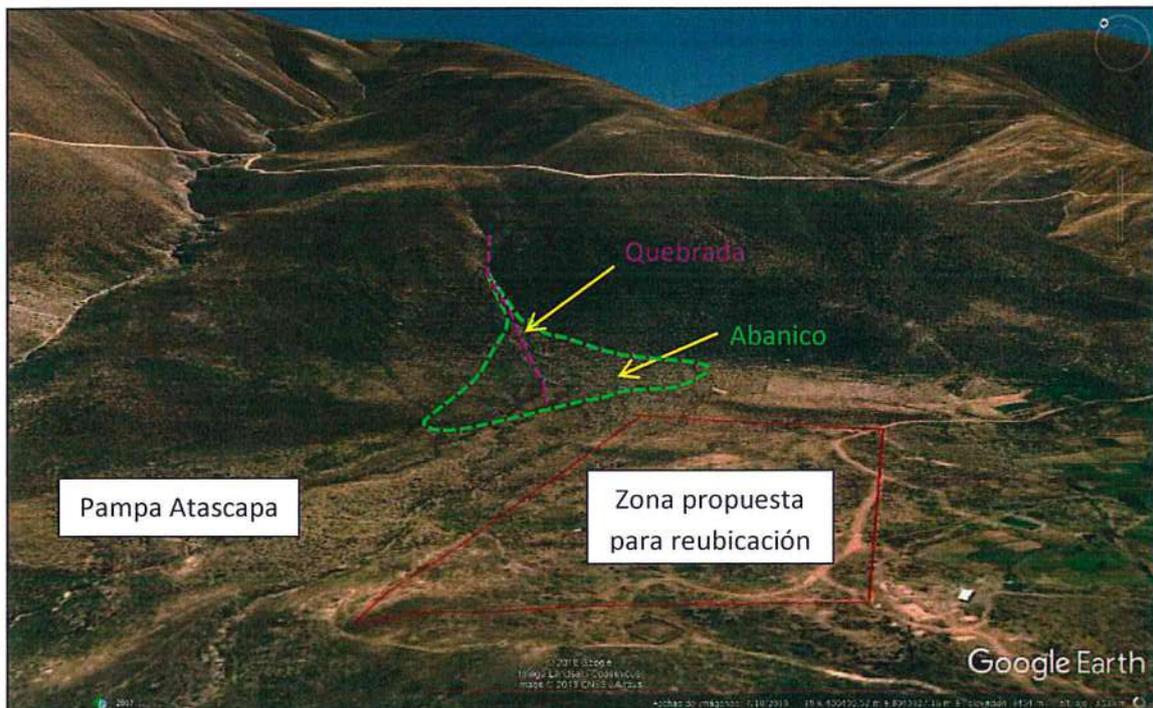


Figura 15. Vista de la quebrada (sin nombre) que se encuentra en el extremo norte del área propuesta para reubicación.

A 200 m al oeste del área propuesta, se encuentra localizada la quebrada Viscachuni, con 6 m de ancho de cauce y 4 m de profundidad a lo largo de una pendiente de 25° (figura 16). En ambas laderas se observa material muy deleznable proveniente de la erosión del substrato de la roca intrusiva,

además de bloques redondeados de hasta 3 m que han sido arrastrados desde la parte alta de la quebrada con fuertes lluvias.

Así también los materiales sueltos podrían generar movimientos en masa en ambas márgenes de la quebrada, tales como ocurrencia de pequeños derrumbes y flujos de lodo.

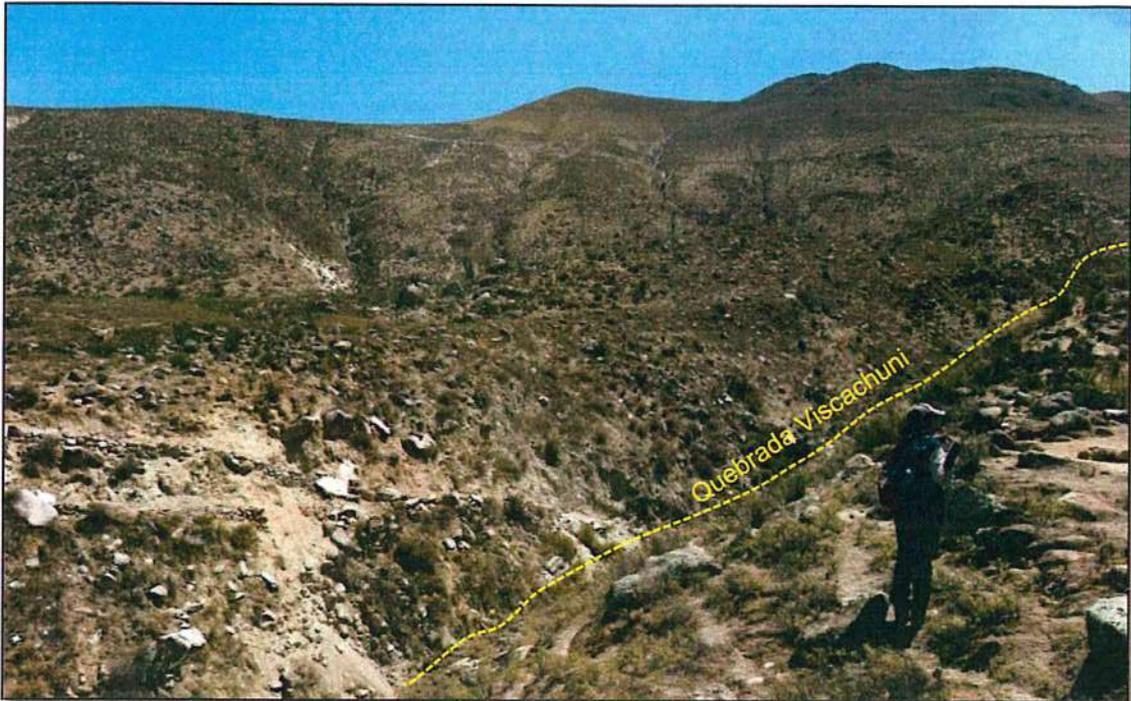


Figura 16. Quebrada Viscachuni con material muy deleznable y bloques que han sido arrastrados desde la parte alta de la quebrada.

Condiciones para la generación de huaicos Ataspaca:

- Procesos de erosiones de ladera que aportan material suelto a las quebradas.
- Roca intrusiva meteorizada.
- Pendiente de los terrenos, que varían de 25° a 35°, que permite que los terrenos se desestabilicen ante presencia de lluvias intensas.

Desencadenantes:

- Precipitaciones pluviales intensas.

6. SIMULACIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS (HUAICOS) EN LAS QUEBRADAS PRÓXIMAS A LA ZONA DE REUBICACIÓN DE ATASPACA

Para la construcción de mapas en el cual representamos escenarios de flujos de detritos (huaicos/lahares) empleamos los siguientes métodos:

Método de simulación numérica

Este método se basa en la aplicación de modelos numéricos asistidos por computadora.

Método de estudio de flujos de detritos (huaicos)

Para la modelización de los flujos de detritos que afectarían a las zonas de estudio, se utilizó el modelo de base física, empleando el código VolcFlow.

Código VolcFlow.

Este programa fue creado en el Laboratorio Magmas et Volcanes, Universidad Blaise Pascal en Clermot Ferrand (Francia), por Kelfun et al., 2005, diseñado especialmente para simular flujos gravitacionales.

El programa VolcFlow 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 valores empleados para correr los distintos flujos se describen más adelante.

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

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

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

Dónde:

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)"

Kactpass: Coeficiente de presión terrestre - "Inverson y Denlinger (2001)"

Requerimiento durante el procesamiento con el (código) VolcFlow	Programas que utiliza
(Angulo interno)-delta_interneo(°)	Matlap
(Angulo de lecho)- delta_basal (°)	Surfer
Cohesión (fuerza por unidad de área) (Kpa)	Photoshop
(Densidad) (kg/m³)	ArcGis
(viscosidad) (Pa.s)	
Volumen (m3)	
Tiempo de emisión (s)	
Tiempo de simulación (s)	

Tabla 1: Parámetros de los flujos y programas necesarios para el procesamiento con el código VolcFlow.

Para trabajar en el código VolcFlow, se empleó un modelo de elevación digital (DEM), con una resolución de 10 cm.

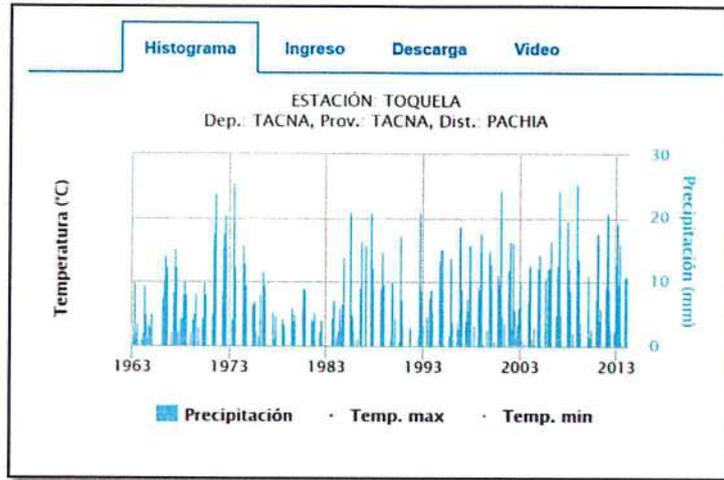


Figura 18. Datos de precipitación pluvial de la estación Toquela. Base datos correspondiente a 50 años (desde el año 1963 al 2013).

En la figura 19, se muestran los resultados de simulación por flujo de detritos para ambas quebradas y sus principales zonas de afectación. El flujo de lodo modelado en la quebrada Viscachuni (polígono verde, figura 19), se canaliza por dicha quebrada, lo cual no representa peligro para la zona propuesta para reubicación; sin embargo, el flujo de lodo modelado en la pequeña quebrada (polígono rojo, figura 19), presenta probabilidades de desborde de torrente hacia una parte del extremo norte sobre el que se localiza la zona propuesta de reubicación.

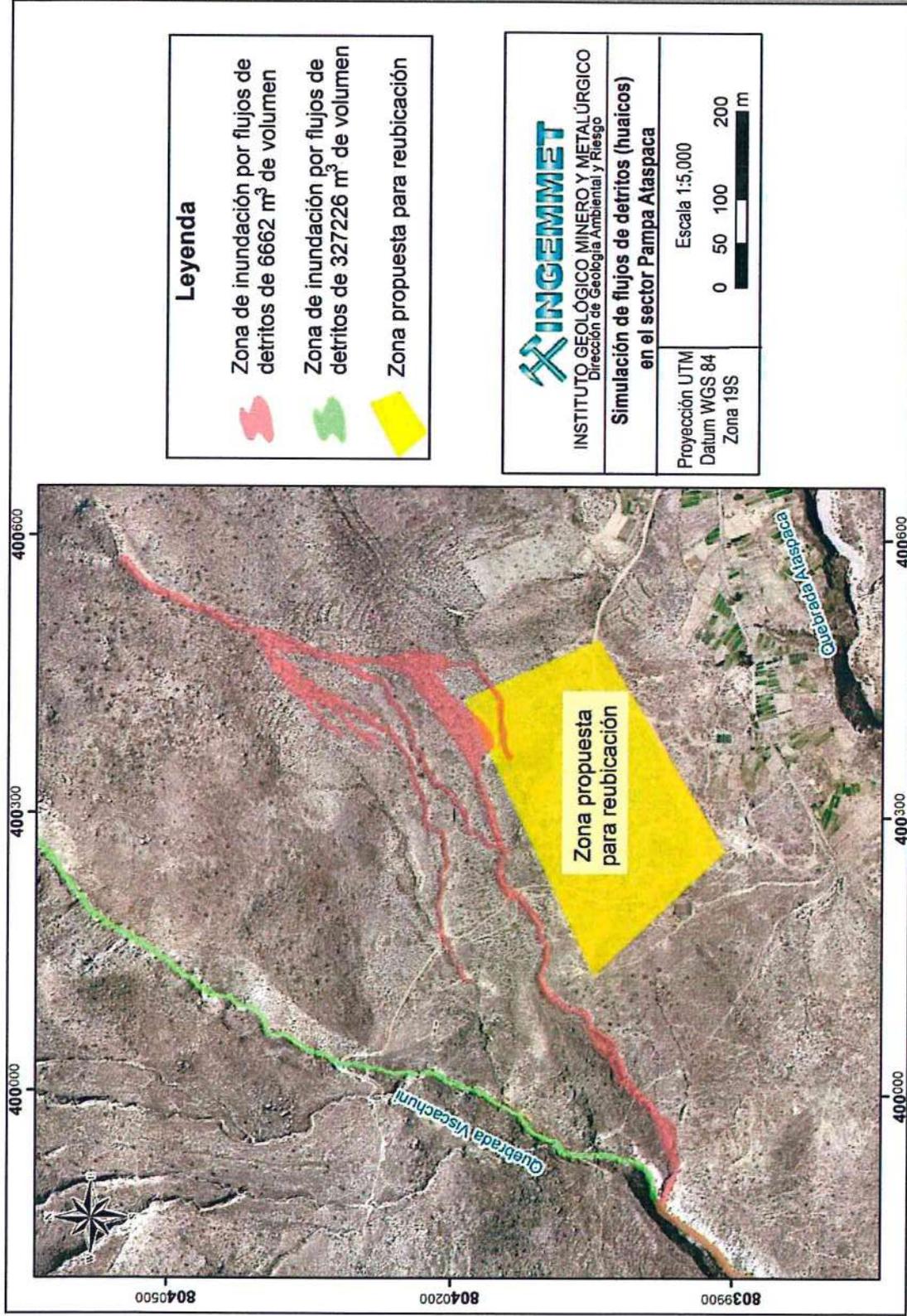


Figura 19. Mapa de simulación de flujos de detritos (huaicos) en el sector de Pampa Ataspaca.

7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales, cuya finalidad es controlar, minimizar y mitigar los posibles impactos por ocurrencias de caída de rocas, procesos de erosión de laderas, entre otros en la zona de estudio (ver figura 27).

7.1 Para caída de rocas

Se puede considerar las siguientes medidas:

a) Mallas Ancladas: Son mallas exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca (figura 20). Las mantas de malla ancladas pueden utilizarse para impedir el movimiento de bloques pequeños (menos de 0.6 a 1.0 metro de diámetro) o masas subsuperficiales delgadas de roca. Sin embargo, en ocasiones las mallas ayudan a atenuar el movimiento de grandes bloques. En principio la malla anclada actúa como una membrana alrededor de la masa o bloque inestable; a su vez pueden ser reforzadas con cables, los cuales se amarran a los anclajes. Se recomienda la utilización de mallas con alambres de calibres BWG 9 a BWG 11. Se pueden utilizar mallas electrosoldadas, de tejido en cadena o mallas hexagonales torsionadas. En la mayoría de los casos se prefiere la malla hexagonal. Las mallas deben usarse solamente en los casos en que ésta queda en contacto directo con la superficie del talud para formar un contacto continuo en toda el área protegida de la fachada del talud. En el caso de la presencia de áreas de bloques pequeños sueltos se deben intensificar los anclajes en estas áreas. Un sistema de soporte de grandes bloques es el amarrarlos con cables individuales anclados al talud. Estos cables actúan en forma similar a las mallas. En algunos casos las mallas se diseñan para que guíen los bloques sueltos hasta el pie del talud (Suarez, 2001).

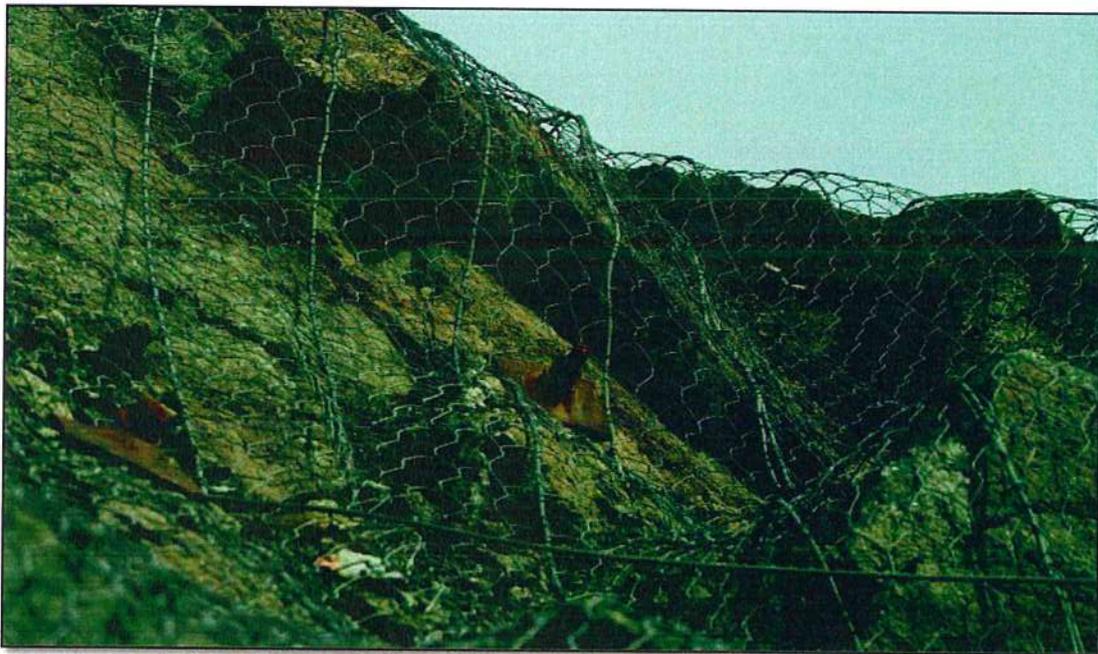


Figura 20. Ejemplo de control de caída de rocas utilizando mallas ancladas.

b) Barreras dinámicas de caída de rocas. Las barreras dinámicas de protección contra desprendimientos se caracterizan por su capacidad de absorción de impactos. Tiene como objetivo interceptar y parar rocas en caída de pequeñas y grandes dimensiones. Además, protegen carreteras (o centros habitados, etc.) ubicados en la proximidad del pie de taludes de corte o naturales y brindan protección en los casos en que el talud tratado sea de grandes dimensiones.

Las barreras de geometría variable son constituidas por un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de rocas de dimensiones menores, cables de acero conectados a elementos estructurales, dispositivos de disipación y de anclaje, caracterizadas por su alta capacidad de deformación en condición de garantizar la absorción de altas energías (normalmente en un range de 250-3000 kJ), figuras 21 y 22.



Figura 21. Ejemplo de mallas dinámicas para caída de rocas.



Figura 22. Ejemplo de mallas dinámicas para caída de rocas.

7.2 Para cárcavas

Se puede considerar las siguientes medidas:

Estructuras temporales para el control de cárcavas

Las estructuras temporales sirven de protección transitoria, para dar tiempo y facilitar la implantación y el arraigo de la vegetación (Hudson, 1982; FAO, 2000; Sharma, 1993). Retienen la tierra fértil y la humedad, y pueden consistir en:

- Barreras de piedras sueltas, que se emplean cuando la pendiente del lecho es moderada y el área de drenaje es pequeño o moderado, y cuando en la zona se encuentran abundantes piedras.
- Barreras de piedras con malla metálica, con las mismas características y en las mismas condiciones que el anterior, sólo que las piedras van sujetas con una malla de alambre.
- Presas de red: postes metálicos clavados en el lecho que sujetan una red metálica, sobre la cual se aplica paja y broza suelta para constituir una barrera porosa.
- Barreras de ramas secas, apiladas o amarradas entre filas de estacas verticales. Deben estar lo suficientemente enterradas para que no se desmoronen. Se emplean cuando el área de drenaje es de pequeño tamaño.
- Barreras de troncos, formando un entramado más firme que en el caso anterior. Se emplean cuando la carga es violenta y en altura, por ejemplo, en la cabecera de la cárcava. Aquí pueden incluirse los pequeños diques de troncos propuestos por Cantero (2011).
- Barreras de adobe, que pueden fabricarse con el propio terreno del lecho de la cárcava.

Estructuras permanentes para el control de cárcavas

Las estructuras permanentes se emplean cuando el problema de la erosión por cárcavas es de mayor envergadura, cuando ya no son eficaces las estructuras temporales y su principal objetivo es resistir las avenidas torrenciales por tiempo indefinido.

Hudson (1982) agrupa las distintas estructuras de carácter permanente según la función a la que estén destinadas. De esta forma, si se pretende evitar el avance de la cabecera de las cárcavas que puede llegar a producir problemas de derrumbamiento en puentes, carreteras o edificios, se pueden construir un dique en la cabecera de la cárcava, que se encontrará inundado continuamente si se ha dejado un espacio libre entre la estructura y la cabecera. También se puede llegar a conseguir estabilizar la cabecera de la cárcava empleando las estructuras de obra de fábrica o de hormigón que Hudson (1982) denomina "estructuras de pendiente", y que ocasionan un daño menor.

Pero si la función que se pretende que realicen estas estructuras es regular el impacto de la crecida, se acude a la construcción de diques de regulación, que poseen un vertedero abierto, cuyo funcionamiento consiste en la recogida del agua de una tormenta y su desagüe para la próxima crecida.

Por último, cuando el fin de estas construcciones sea la retención de sedimentos, y las anteriores soluciones no sean válidas debido a una excesiva carga de estas partículas, se acude a presas permanentes que retienen los aluviones.

Los materiales son variados: desde estructuras reticulares de madera, perfiles o jaulas metálicas rellenas de cascajo o piedra a estructuras de mampostería seca, mampostería hidráulica, hormigón en masa, hormigón armado, presas de tierra, de otros materiales reciclados como neumáticos, bidones o contenedores, etc. Si se realizan con hormigón o mampostería hidráulica se diseñan una serie de mechinales o troneras que atraviesan su perfil y permiten la salida regulada del caudal líquido, a la vez que disminuyen las fuerzas de empuje y contribuyen a la estabilidad de la obra.

Con relación al tamaño y forma de la cárcava se recomiendan implementar las siguientes acciones:

- Para cárcavas pequeñas, más anchas que profundas, con poca pendiente en su lecho o cuya cuenca de captación no sea muy grande, puede utilizarse vegetación. En este caso, se podrá transformar el área en pastizal, utilizando gramíneas forrajeras; o, si se desea que el área sea destinada a protección natural, reserva forestal o para la producción industrial de madera, se deberán escoger los árboles más adaptados a la región y de más rápido crecimiento. Se recomienda la siembra o plantación en líneas perpendiculares a la pendiente de la cárcava, de manera que se formen pequeños escalones defensivos. Los arbustos defensivos reducen la velocidad del agua en el interior de la cárcava, resultando en deposición de sedimentos, lo que favorece el establecimiento de nueva vegetación.
- Para cárcavas mayores, será necesario utilizar estructuras temporales o permanentes. Las estructuras temporales deben ser de fácil y rápida construcción, usando materiales baratos y de fácil disponibilidad. Los modelos más comunes de estructuras temporales se presentan en las figuras 23 a 26. Se recomienda la construcción de varias estructuras a lo largo del lecho de la cárcava, de altura no superior a 40 cm, distribuidas a intervalos uniformes o en posiciones estratégicas, de manera que protejan los puntos críticos y faciliten el crecimiento de vegetación en los mismos.

Las barreras o empalizadas deben estar suficientemente enterradas en el fondo y en los flancos de la cárcava para evitar que se desmoronen. También es necesario que el vertedero colocado en la parte central de la estructura tenga una sección suficiente para satisfacer el volumen de descarga previsible. Como norma general, será necesario proteger la salida de la barrera para impedir que la obra sea destruida por el flujo de agua del vertedero. Es importante recordar que estas estructuras deben recibir mantenimiento y por tal razón se recomienda después de lluvias fuertes, realizar una inspección para verificar posibles daños y hacer reparaciones. Esta práctica es de especial importancia en la próxima fase, la instalación, cuando los materiales todavía no están consolidados (Díaz, 2002).



Figura 23. Control de pequeña cárcava mediante bandas de cubiertas vegetales (Hull, 1959).

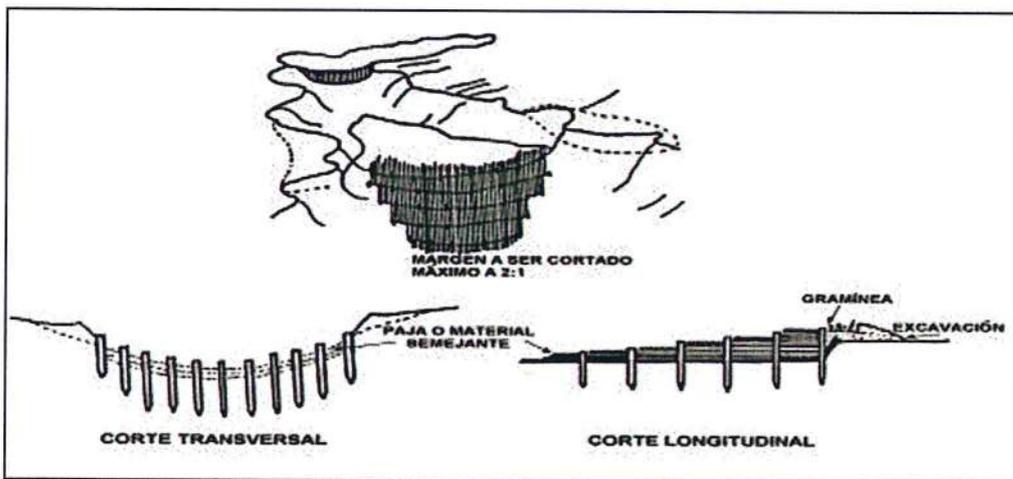


Figura 24. Barreras de ramas (Hull, 1959).

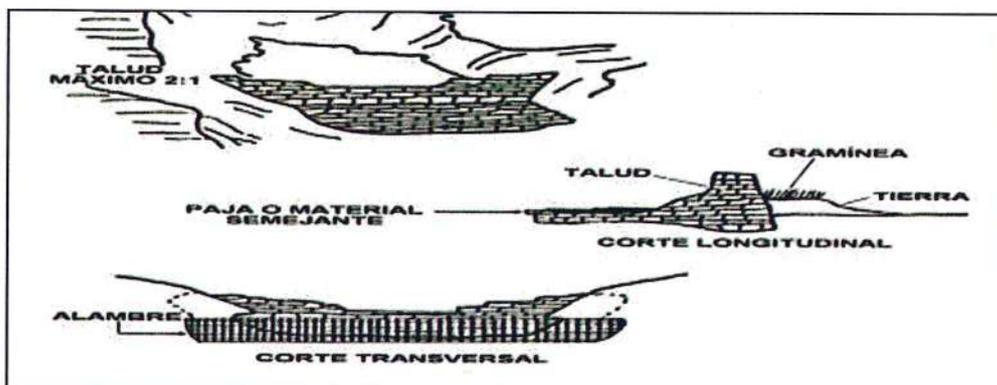


Figura 25. Barrera de piedra (Hull, 1959).

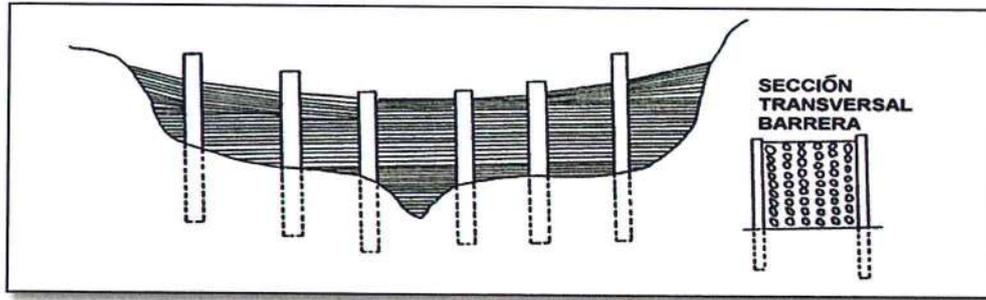


Figura 26. Barrera de ramas en manojos (Hull, 1959).

7.3 Para los huaicos y/o flujos de detritos

Se puede considerar las siguientes medidas:

- Para la pequeña quebrada ubicada al norte del área propuesta se debe diseñar un canal hidráulico (figura 27), con la finalidad de darle un curso hacia la quebrada Viscachuni, para evitar daños de presentarse lluvias excepcionales.
- Para la canalización se puede emplear espigones y diques transversales, aprovechando el abundante material rocoso disponible en el área.

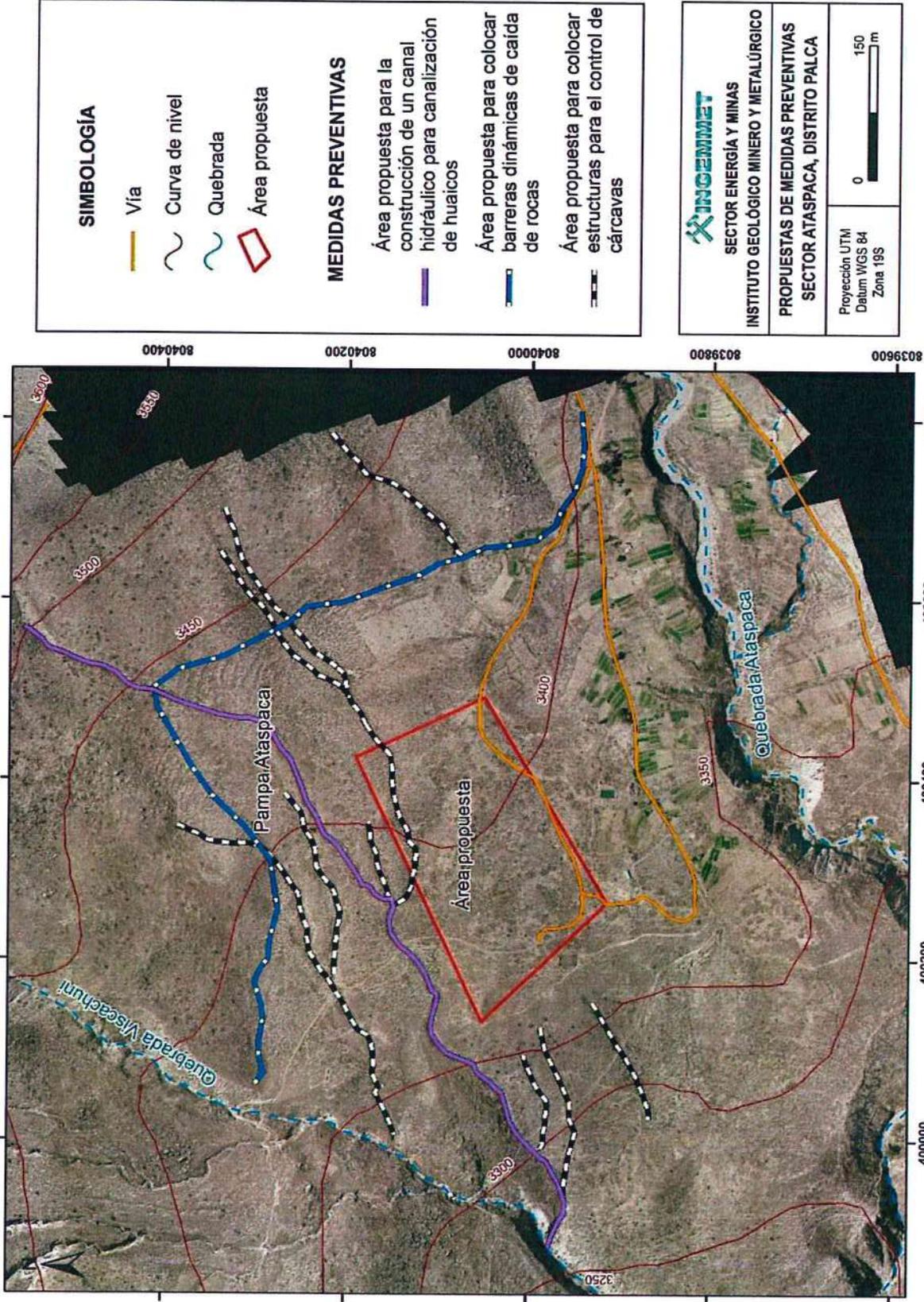


Figura 27. Propuesta de medidas preventivas en el sector de Pampa Ataspaca.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los registros y evidencias mostradas en campo, se puede afirmar que el evento de huaico suscitado el 04 de febrero del 2019, que afectó al centro poblado de Atascapa y a más de 70 familias; se le atribuye a factores desencadenantes y aceleradores como son las lluvias extraordinarias que ocurrieron o ese día y que se concentraron considerablemente en la cuenca alta la quebrada Atascapa.
2. El área propuesta para reubicación del pueblo de Atascapa, es **apta para vivienda**; sin embargo, se deben realizar obras de prevención y/o mitigación en las áreas donde ocurren erosiones de laderas, caídas de rocas y huaicos.
3. En el área de estudio se tienen afloramientos de granodiorita y monzodiorita, además de depósitos aluviales y coluviales; siendo muy incompetentes y comportándose muy deleznable y susceptibles a ser erosionadas y formar suelos arenosos y arcillosos, debido a que se encuentran intensamente meteorizadas y fracturadas.
4. Las laderas de las colinas colindantes al área propuesta para reubicación, presentan bloques sueltos propensos a caer y magnificar sus impactos y alcances ante la ocurrencia de sismos y /o precipitaciones excepcionales intensas.
5. La cartografía de eventos geológicos superficiales nos demuestra que existen procesos de erosión tipo cárcavas a lo largo de las laderas colindantes del área propuesta y sobre la Pampa Ataspaca; estos eventos generan material suelto que ante la presencia de lluvias extraordinarias podrían originar flujos de detritos.
6. En base a las simulaciones de flujos de detritos (huaicos): La quebrada Viscachuni no representa peligro para la zona de reubicación, debido a que los flujos se canalizan por dicha quebrada; sin embargo los flujos que descienden por la pequeña quebrada ubicada en la parte alta al norte de la zona de reubicación, se desbordarían y alcanzarían parte del extremo norte del polígono propuesto; para lo cual es necesario tener en cuenta esta simulación ante la habilitación de viviendas o infraestructura a instalar.

RECOMENDACIONES

1. Reforestación de laderas circundantes al área propuesta para reubicación, para evitar la erosión tipo cárcavas y prohibir la deforestación de la misma y la aplicación de recomendaciones señaladas en el ítem 8.2.
2. Retirar las rocas sueltas en las laderas colindantes al área propuesta para reubicación y la aplicación de recomendaciones señaladas en el ítem 8.1.
3. No se debe construir viviendas u otros tipos de infraestructura cerca o dentro de las zonas de carcavamiento.
4. Colocar defensas en las cárcavas por medio de diques de gaviones, trinchos de madera, empedrados, etc.
5. En épocas de lluvia, se recomienda a los pobladores alejarse de las quebradas (Viscachuni y Ataspaca), y a las autoridades estar alertas ante cualquier emergencia y la aplicación de recomendaciones señaladas en el ítem 8.3.
6. Se recomienda el desarrollo de las medidas de recomendaciones establecidas; además de que están deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.



Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



Ing. SEGUNDO ALFONSO NUÑEZ JUAREZ
Jefe de Proyecto. Evaluación de Peligros
Geológicos a Nivel Nacional
INGEMMET

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H.; Alván, A.; Mamani, M.; Oviedo, M.; & Rodriguez, 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.
- Alván, A.; Vennari, V.; Acosta, H.; Borja, S. & Giraldo, E. (2010) -División y comparación biozonal del Jurásico medio y superior en la cuenca Arequipa, sur de Perú: resultados iniciales (CD-ROM). En: Congreso Peruano de Geología, 15, Cusco 2010. Resúmenes extendidos. Lima: Sociedad Geológica del Perú, p. 200-203.
- Cantero, A.; 2011. Construcción de pequeños diques de trozas en el hayedo de Iturrigorri (Oñati, Guipúzcoa). Montes, 107: 17-20.
- Díaz; V.; 2012. Erosión en cárcavas: una revisión de los efectos de los diques forestales. <https://www.researchgate.net/publication>.
- FAO; 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de aguas y tierras de la FAO.
- Griswold, J.P., 2004. Mobility Statistics and Hazard Mapping for non-volcánic flows and rock avalanches. Thesis for the Master of Science in Geology, Portland State University.
- Hudson, N.; 1982. Conservación del suelo. Editorial REVERTÉ. Barcelona.
- Hull, W.X. 1959. Manual de conservação do solo. Secretaria da Agricultura dos Estados Unidos da América, Washington D.C. (Publicação TC-284) pp. 71-83.
- Kelfoun, K., and T. H. Druitt (2005), Numerical modeling of the emplacement of Socompa rock avalanche, Chile, J. Geophys. Res., 110, B12202, doi: 10.1029/2005JB003758.
- Martínez, W. & Cervantes, J. (2003) - Rocas ígneas en el sur del Perú: Nuevos datos geocronométricos, geoquímicos y estructurales entre los paralelos 16° y 18°30' Latitud Sur. INGEMMET, Boletín, Serie D: Estudios Regionales, 26, 140 p.
- Monge, R. & Cervantes, J. (2000) – Memoria explicativa de la geología del cuadrángulo de Pachia y Palca, escala: 1:50,000, informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 12 p., 8 mapas.
- San Miguel, M. 1958. Manual de geología. 3ra Ed., Edit. Manuel Marín y Cia. Bilbao, España.
- Sánchez, A. (1983) - Nuevos datos K-Ar en algunas rocas del Perú. Boletín Sociedad Geológica del Perú, (71): 193-202.
- Sharma, P.M.; 1993. Prevención y control de cárcavas a nivel de finca por medio de métodos vegetativos y estructurales temporales en Honduras tropical. Proyecto RENARM/ Manejo de cuencas. CATIE. Turrialba (Costa Rica).

- Suarez, J.; 1998. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Colombia.
- Suarez, J. 2001. Control de caídos y deslizamientos en roca. Libro de deslizamientos, Tomo II.
- Wilson, J. y Garcia, W. (1962). - Geología de los cuadrángulos de Pachía y Palca. CCGN. N°4.