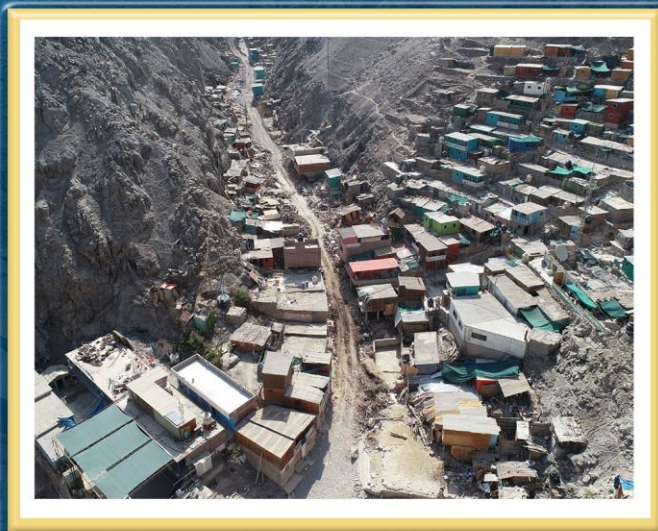


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7367

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO SECOCHA Y LAS LOCALIDADES LA PODEROSA, SAN MARTÍN, POSCO MISKY Y PAMPAYLIMA

Departamento Arequipa
Provincia Camaná
Distrito Mariano Nicolás Valcárcel



MARZO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO SECOCHA Y LAS LOCALIDADES LA PODEROSA, SAN MARTÍN, POSCO MISKY Y PAMPAYLIMA

Distrito Mariano Nicolás Valcárcel, Provincia Camaná, Departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Segundo Núñez Juárez

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Secocha y las localidades de La Poderosa, San Martín, Posco Misky y Pampaylima. Distrito Mariano Nicolás Valcárcel, Provincia Camaná, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7367, 84p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos del estudio	1
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	1
1.3. Aspectos generales	2
1.3.1. Ubicación	2
1.3.2. Accesibilidad	6
1.3.3. Precipitación pluvial	6
1.3.4. Población	8
2. DEFINICIONES	9
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	11
3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1 Pendiente del terreno	12
4.2 Unidades geomorfológicas	14
4.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional o denudativos	14
4.2.2 Geformas de carácter deposicional o agradacional	15
5. MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA SACA DE POSCO	16
6. PELIGRO GEOLÓGICO	19
6.1 peligros geológicos por movimientos en masa.	19
6.1.1 Huacos (flujo de detritos)	19
6.1.2 Caída de rocas y avalancha de detritos	28
6.1.3 Procesos de erosión de ladera (cárcavas)	37
6.2 Características del huaico (flujo de detritos) del 05 febrero del 2023	38
6.3 Factores condicionantes	50
6.4 Factores desencadenantes	50
7. SIMULACIONE DE HUAICO (FLUJO DE DETRITOS)	50
7.1 Volumen del huaico (flujo de detritos)	51
7.2 Resultados de simulación de huaico (flujo de detritos)	54
8. TERRENOS PROPUESTOS PARA LA REUBICACIÓN	55
8.1 Medidas a implementar antes de la ocupación urbana	55
9. CONCLUSIONES	59
10. RECOMENDACIONES	61
ANEXO 1: MAPAS	63
ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	74

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizado en el centro poblado Secocha y las localidades La Poderosa, San Martín, Posco Misky y Pampaylima. 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.

En la cuenca alta y media de la quebrada Saco de Posco afloran conglomerados no litificados (Formación Moquegua), de fácil erosión a la acción de las lluvias. En la cuenca media y baja, se tienen intrusivos moderadamente meteorizados y medianamente fracturados (Súper Unidad Sacota); tobas masivas y moderadamente meteorizadas (Formación Río Grande). En la cuenca baja afloran rocas tipo “gneis” muy fracturados y medianamente meteorizados (Complejo Basal de la Costa). Además, afloran depósitos no consolidados de tipo coluvial, aluvial, proluvial y fluvial.

Geomorfológicamente, se aprecian montañas en rocas volcánicas, intrusivas y metamórficas; colinas estructurales en rocas sedimentarias e intrusivas. Entre las geoformas de piedemonte se tienen vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales y abanicos aluviales. Otras geoformas identificadas son terrazas aluviales y fluviales.

La microcuenca de la quebrada Saca de Posco, presenta un área 4,780 ha; la longitud de su cauce principal es de 17 km, nace sobre los 2230 m s.n.m y confluye en el río Ocoña a 400 m s.n.m. es decir posee un desnivel de 1830 m.

Los peligros geológicos identificados corresponden a flujo de detritos (huaicos), caída de rocas, avalancha de detritos y procesos de erosiones de ladera (cárcavas). Las localidades mencionadas anteriormente están asentadas sobre depósitos de huaicos antiguos (proluviales). Los procesos de caída de rocas y avalancha de detritos se generan sobre laderas con pendientes muy fuertes a escarpadas.

El área urbana de Secocha y San Martín, ocupan (viviendas, calles) el cauce de la quebrada Saca de Posco en los sectores La Poderosa, Posco Misky y Pampaylima. El cauce fue aprovechado como calle y vía principal de comunicación, como también ocupación de viviendas

El 5 de febrero se generó un huaico, que al descender por su cauce afectó las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa, asentadas en esta. El factor detonante fue la lluvia excepcional de 46 mm que cayó en la microcuenca de la quebrada Saca de Posco. En días anteriores se presentaron lluvias prolongadas que humedecieron y saturaron las laderas.

El flujo, en su movimiento cuesta abajo, erosionó los materiales situados en ambas márgenes, en su cauce y todo lo encontraba a su paso. De esta manera incorporó material suelto al flujo, aumentando su volumen y poder destructivo.

El flujo al momento de movilizarse retomo su cauce natural, arrasando viviendas e infraestructura, ubicadas de manera irregular, que encontró a su paso. Se calcula que el material transportado fue un total de 1,800,000 m³.

Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa, son consideradas de **Peligro Alto a Muy Alto y Zona Crítica**. Estos sectores pueden ser afectados nuevamente por

huacos (flujo de detritos), que se pueden dar en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas. Así como caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos durante lluvias intensas y/o movimientos sísmicos.

Es importante realizar evaluaciones de riesgos (EVAR), cuyos estudios deben ser ejecutados por un evaluador de riesgos acreditado.

Dadas las condiciones geológicas – geomorfológicas del área evaluada, además que existe la tendencia de la ocurrencia de intensas precipitaciones pluviales para los próximos años (cambio climático), es importante que las viviendas e infraestructura ubicada en el cauce de la quebrada deben ser reubicadas.

Se proponen áreas para reubicación de las localidades La Poderosa, San Martín y Posco Misky; en estas áreas, actualmente no se evidencian peligros geológicos que le puedan afectar. Es impórtate recalcar que la futura zona urbana deberá ceñirse estrictamente a los polígonos brindados en el presente informe.

- Área 1: Para la reubicación de La Poderosa, esta se ubica en el sector Rodadero, a 270 m al norte del actual poblado, posee un área de 2.58 ha.
- Áreas 2 y 3: Para la reubicación de San Martín, la primera se ubica en la parte baja del cerro Buena Vista, a 100 m norte del actual poblado, posee un área de 2.41 ha. La segunda se ubica en el sector Cerro Colorado, a una distancia de 150 m al Este del actual poblado, posee un área de 2.68 ha.
- Área 4: Para la reubicación de Posco Misky, se ubica en la ladera del cerro S/N, margen izquierda de quebrada Saca de Posco, a la altura de la carretera de acceso a la localidad de San Martín, a una distancia de 350 m al Sureste del actual poblado San Martín, posee un área de 5.61 ha.

Reubicar el centro poblado Secocha y la localidad Pampaylima a un lugar en el que no se observe perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas; en el área de estudio no se encontraron áreas cercanas idóneas para su reubicación.

Finalmente, las autoridades competentes deben implementar ordenanzas, para prohibir:

- La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa.
- La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
- Por ningún motivo debe continuar la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas y ríos.
- Evitar el crecimiento poblacional hacia las laderas de los cerros con presencia de movimientos en masa. En la actualidad la tendencia de expansión urbana está orientada hacia estas zonas. Es importante mencionar, que el sur del país es una zona de alta sismicidad; en este sentido las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros pueden estar expuestas a desprendimientos de rocas y derrumbes.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), 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 Instituto Nacional de Defensa Civil, según Oficio N°D000180-2023-INDECI-SEC GRAL; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el distrito Mariano Nicolás Valcárcel, principalmente en el centro poblado Secocha y los sectores Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Segundo Núñez Juárez y Yhon Soncco Calsina, para realizar la evaluación de peligros geológicos que afectan la zona urbana en los sectores antes mencionados. Los trabajos de campo se realizaron del 14 al 18 de febrero del 2023.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías terrestres y áreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Tipificar y caracterizar el peligro geológico por flujo de detritos (huaicos) y otros tipos de peligros que se presentan en el centro poblado Secocha y las localidades Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, vías de comunicación y en el peor de los casos hasta vidas humanas.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Emitir recomendaciones y alternativas de mitigación y reducción de desastres.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) *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.* Menciona que el centro poblado Secocha, es un área sujeta a flujos de detritos (huaicos). Además, las laderas de la quebrada Saca de Posco y quebradas afluentes, presentan material susceptible de ser removido en forma de taludes de detritos, con pendiente moderada, donde se realiza actividad minera artesanal en la parte alta del poblado; y en la parte baja, actividad agrícola. Los desencadenantes son las lluvias excepcionales y sismos. El poblado se encuentra asentado sobre un abanico antiguo. En la desembocadura de la quebrada, se observan depósitos de flujos de detritos de diferentes periodos.

- b) 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 mapas.* Mediante un análisis multitemporal de imágenes satelitales observan el crecimiento urbanístico del centro poblado Secocha sobre depósitos de antiguas ocurrencias de flujos de detritos (huaicos). Además, menciona que la zona no es apta para asentamiento poblacional, y recomienda elaborar un plan de contingencia ante huaicos. Reubicar a la población asentada en el cauce de la quebrada. Abrir cauce de quebrada que cruce el área poblada de Secocha. Limpieza periódica del cauce de quebrada.
- c) 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.* El centro poblado Secocha está sujeta a flujos de detritos. La quebrada presenta materiales susceptibles a ser removidos.
- d) Pecho, V. (1998). *Mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET.* En él se detalla la litoestratigrafía existente en la microcuenca de la quebrada Saca de Posco.
- e) *El mapa geológico integrado del Perú versión 2022, a escala 1:50 000. En la microcuenca de la quebrada Saca de Posco, se tienen afloramientos de rocas sedimentarias (Formación Moquegua), volcánicas (Formación Río Grande), intrusivos (Súper Unidad Sacota y Complejo Basal de la Costa)*
- f) 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.* Menciona que Las rocas más antiguas en el área están representadas por rocas metamórficas del Complejo Basal de la Costa que constituye el basamento de la secuencia estratigráfica, de edad Precambriana, constituidos principalmente por gneis y granitos potásicos con estructura gnéisica.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde a las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa, ubicados en el distrito Mariano Nicolás Valcárcel, provincia Camaná, departamento Arequipa (figuras 1 y 2); en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área evaluado en las localidades: Secocha, Pampaylima, Posco Misky y San Martín

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	691342	8235163	-15.955529°	-73.212259°
2	692435	8236263	-15.945504°	-73.202139°
3	696369	8232351	-15.980542°	-73.165077°
4	695275	8231250	-15.990578°	-73.175205°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	695328	8232540	-15.978917°	-73.174816°

Cuadro 2. Coordenadas del área evaluado en el sector La Poderosa

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	690264	8243330	-15.881814°	-73.222977°
2	691290	8243330	-15.881735°	-73.213397°
3	691290	8242015	-15.893618°	-73.213292°
4	690263	8242012	-15.893724°	-73.222881°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Zona evaluada	690719	8242703	-15.887445°	-73.218679°

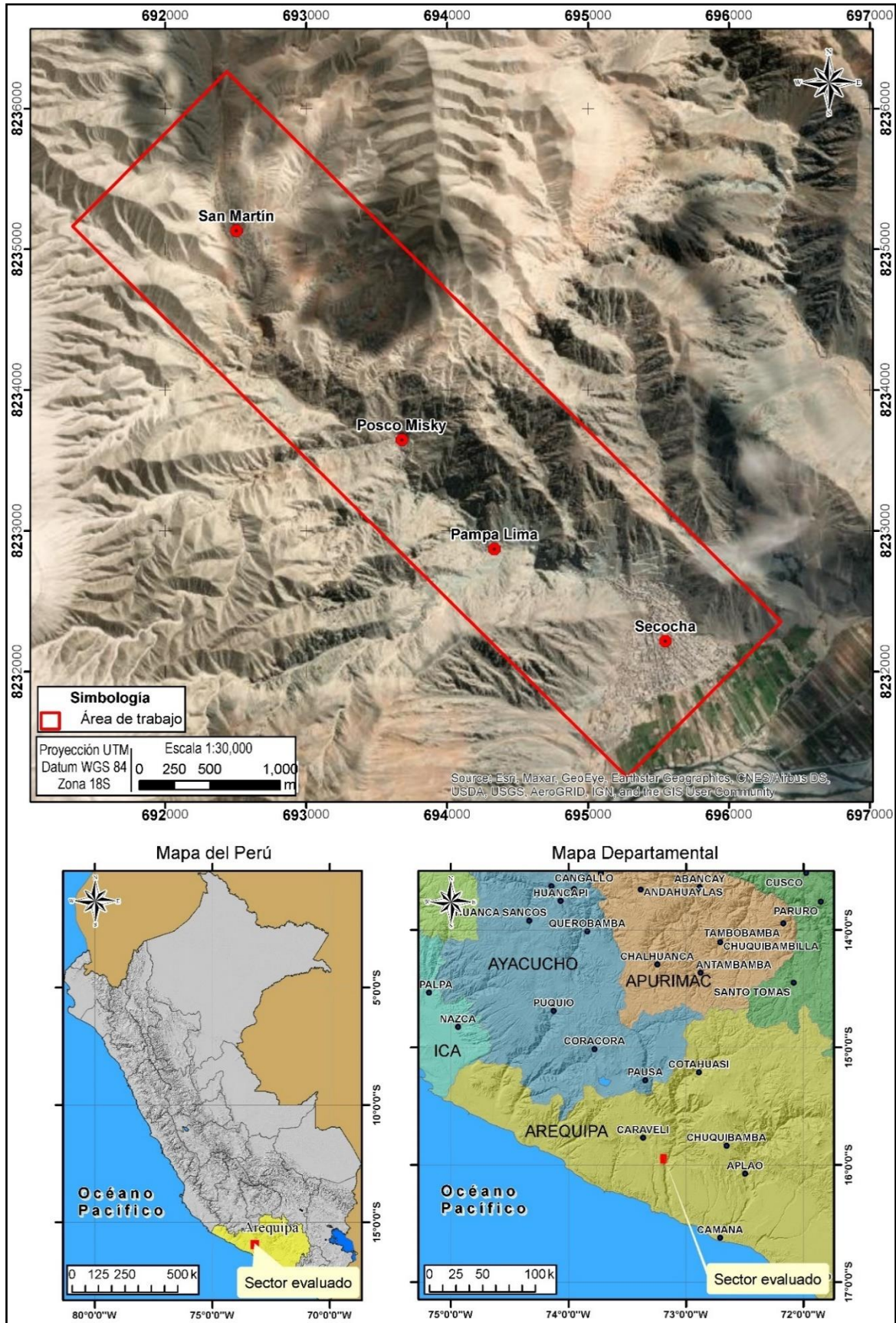


Figura 1. Ubicación de las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky y San Martín

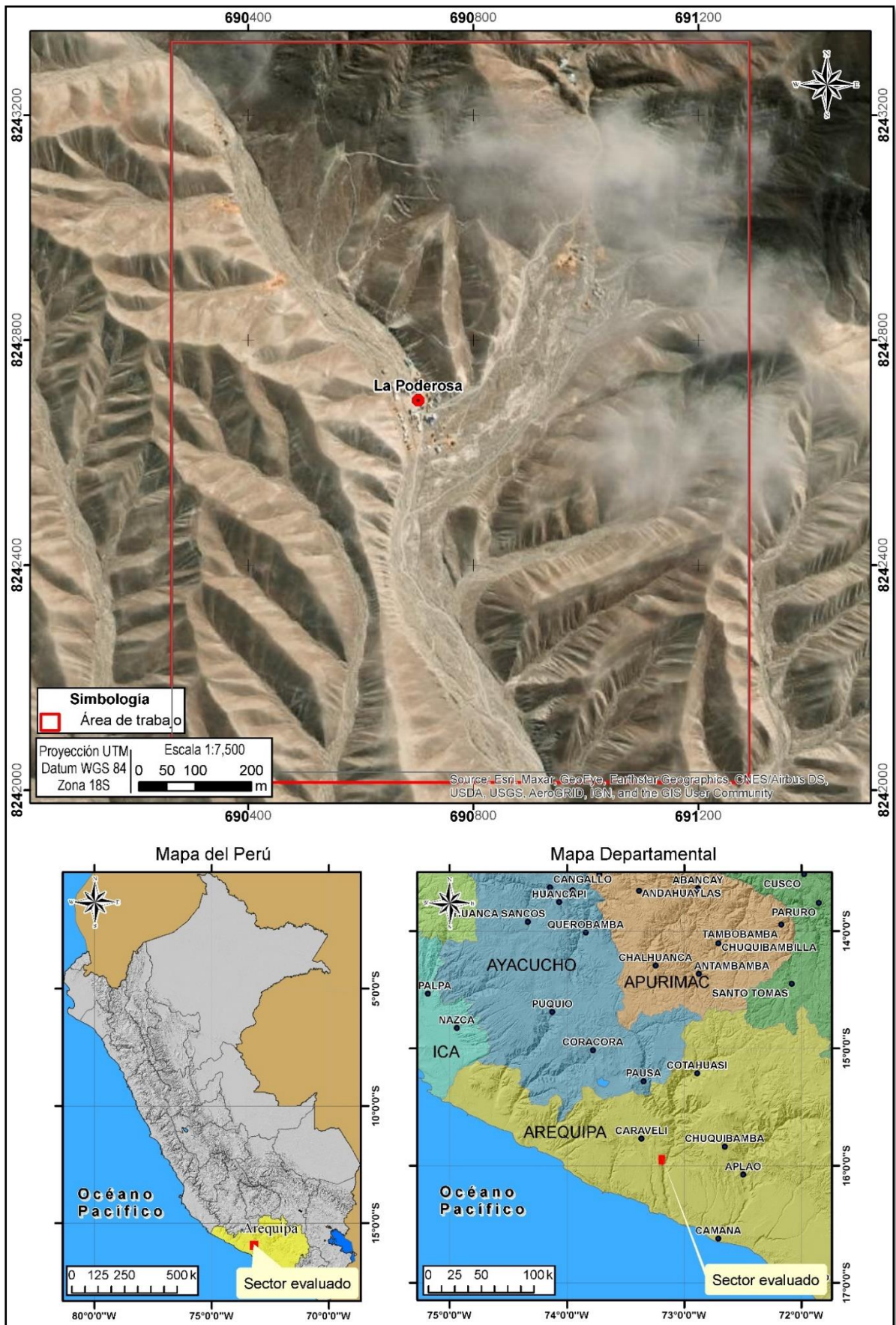


Figura 2. Ubicación de la localidad La Poderosa

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a las localidades evaluadas es por vía terrestre, partiendo desde la sede del Ingemmet OD-Arequipa, y se sigue la siguiente ruta:

Cuadro 3. Rutas y accesos a los sectores evaluados: Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Ocoña	Asfaltada	231	3 hora y 56 min
Ocoña - Secocha	Asfaltada	57.9	1 hora y 12 min
Secocha – San Martín	Trocha carrozable	9.9	55 min
San Martín – La Poderosa	Trocha carrozable	8.6	45 min
San Martín – Posco Misky	Trocha carrozable	2.8	40 min
Secocha - Pampaylima	Trocha carrozable	1.6	30 min

1.3.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). De acuerdo a datos de las estaciones meteorológicas Caraveli y Yanaquihua, próximas al área evaluado. Cuyos valores de precipitación se muestran en los (gráficos 1 y 2). En ambas estaciones se visualiza una data de una ventana de tiempo de más de 25 años.

- En la estación de Caraveli, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 30 mm.
- En la estación de Yanaquihua, desde 1963 hasta 2012. La mayor precipitación es de aproximadamente 68 mm.

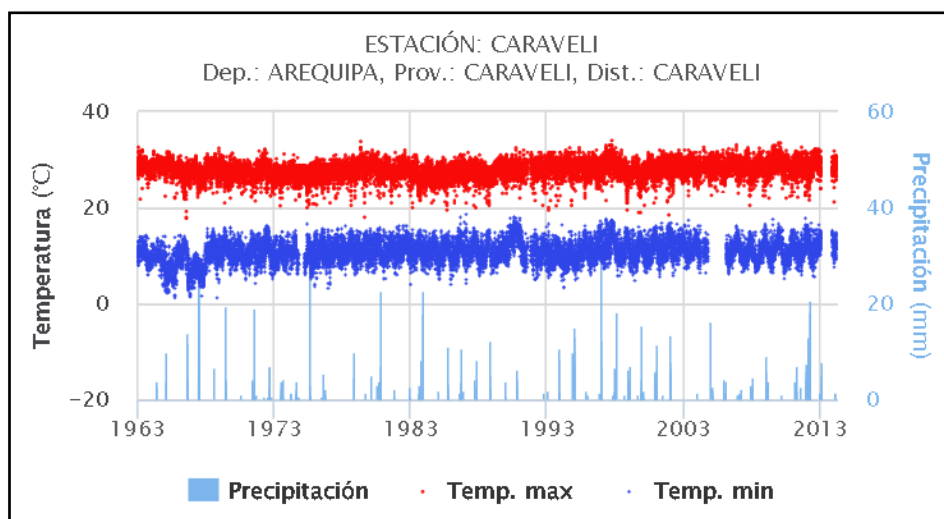


Gráfico 1. Precipitación diaria según la estación Caraveli. Fuente: Senamhi.

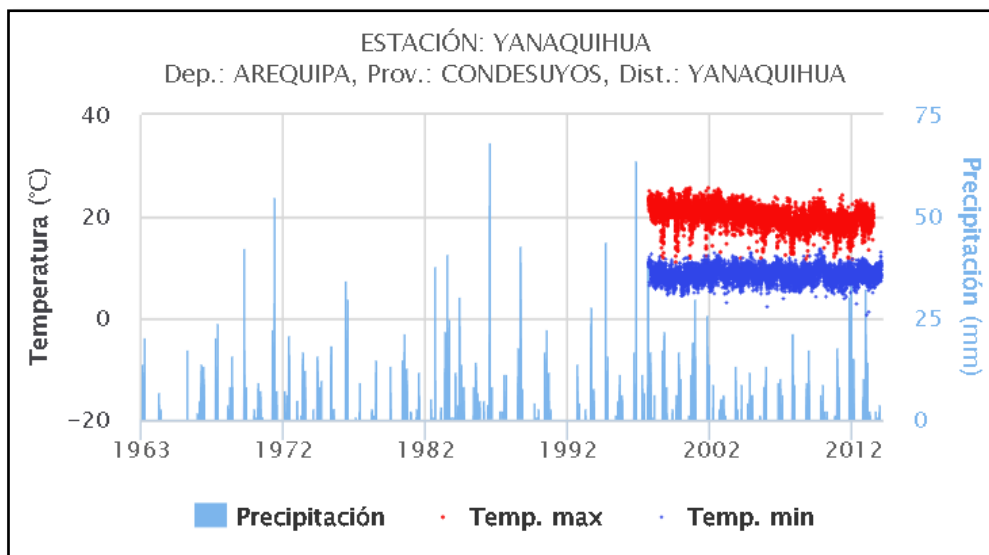


Gráfico 2. Precipitación diaria según la estación Yanaquihua. Fuente: Senamhi.

Asimismo, para el análisis del evento de huaico (flujo de detritos) del pasado 5 de febrero del presente, se tomó en cuenta la precipitación de los días previos al evento en la microcuenca de la quebrada Saca Posco. Valores interpretados de las gráficas presentadas por SENAMHI.

- El viernes 03/02/2023, la precipitación fue de hasta 5 mm
- El sábado 04/02/2023, la precipitación fue de hasta 26 mm
- El domingo 05/02/2023, la precipitación fue de hasta 46 mm
- El lunes 06/02/2023, la precipitación fue de hasta 20 mm

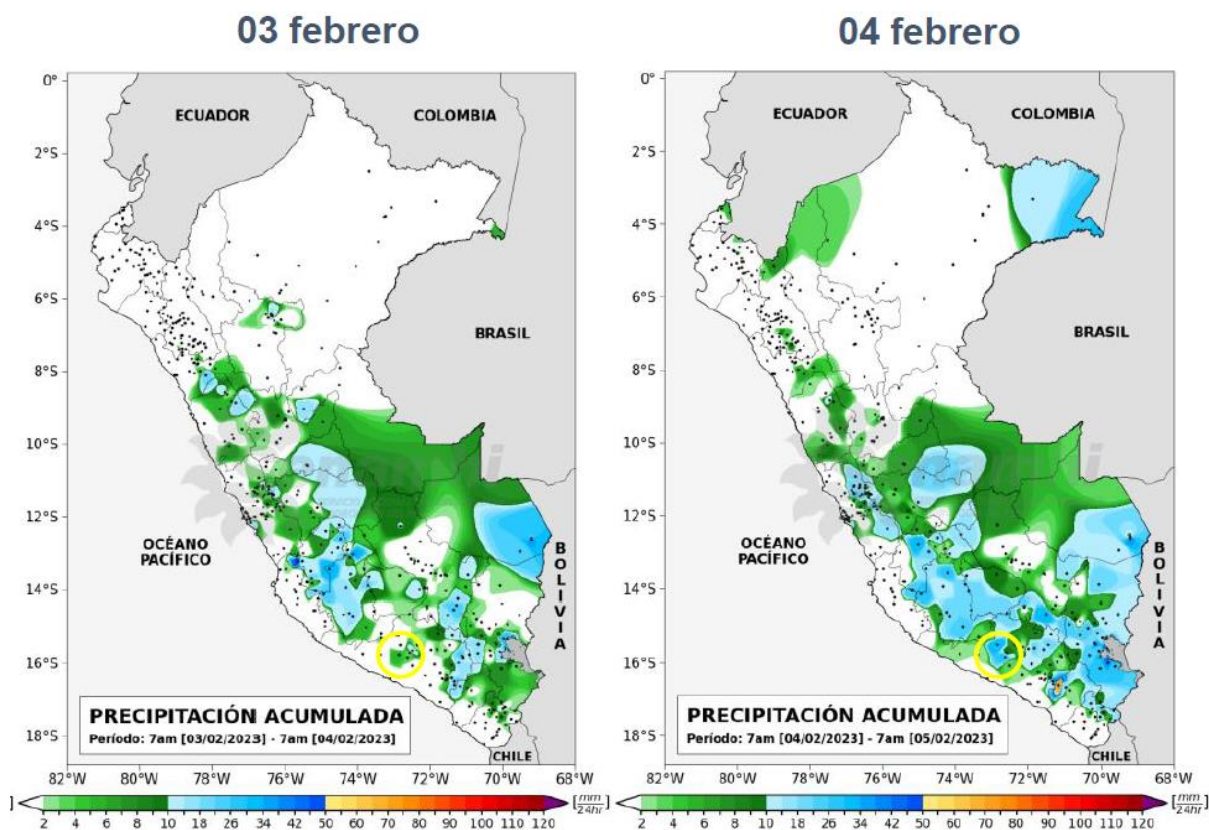


Figura 3. Precipitación de los días 3 y 4 de febrero del presente. Fuente: Senamhi.

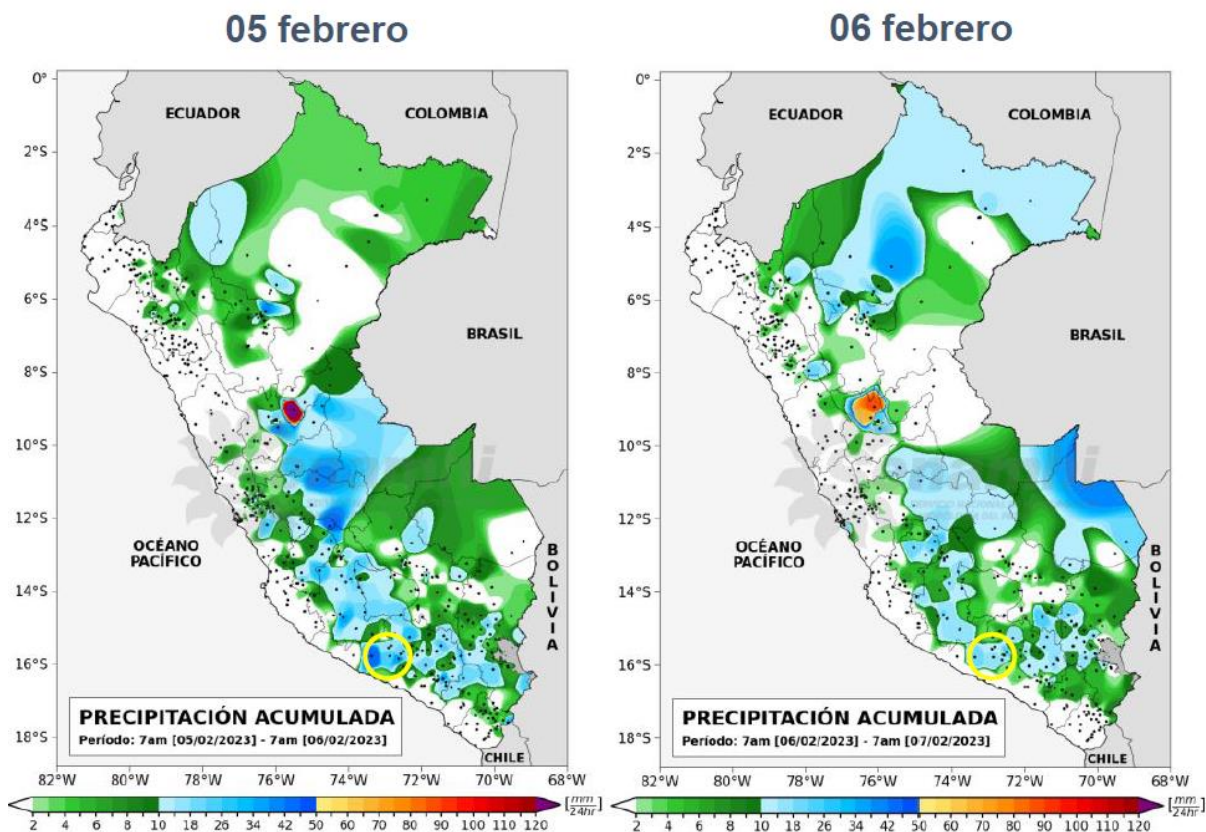


Figura 4. Precipitación de los días 5 y 6 de febrero del presente. Fuente: Senamhi.

1.3.4. Población

El distrito Mariano Nicolas Valcárcel es el cuarto distrito más poblado de la provincia de Camaná, de acuerdo con el XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda (CPV, 2017); suman 6997 personas (Grafico 3).

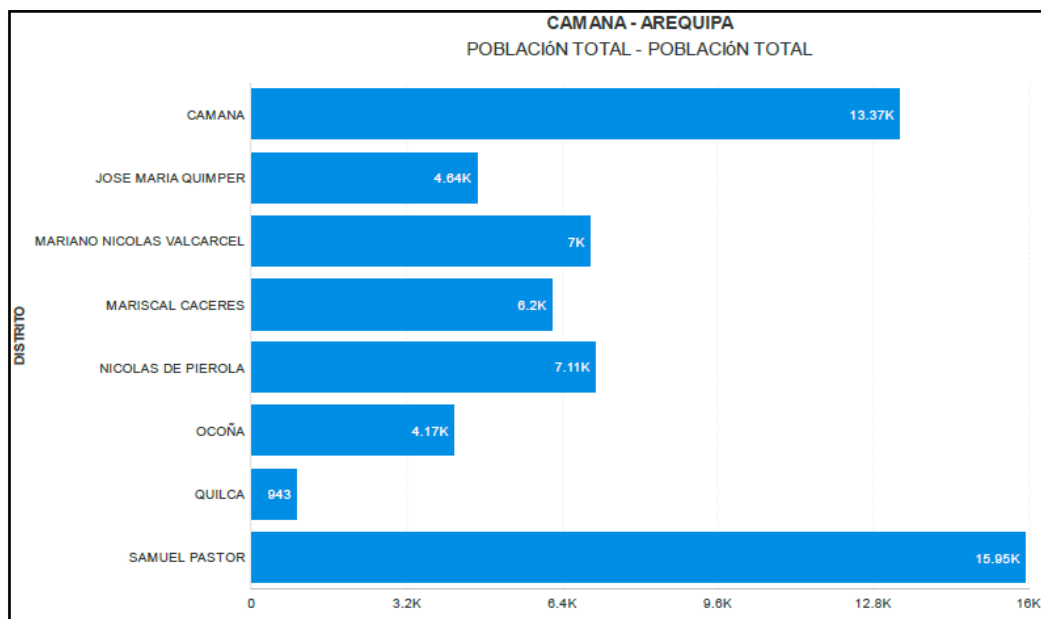


Gráfico 3. Población por distritos de la provincia Camaná. (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

Según el Censo Nacional 2017, en el distrito Mariano Nicolas Valcárcel las personas están distribuidas según el grupo etario siguiente: (0-17 años) 2144 personas; (18-59 años) 4642 personas y (60 años a más) 211 personas, (grafico 4).

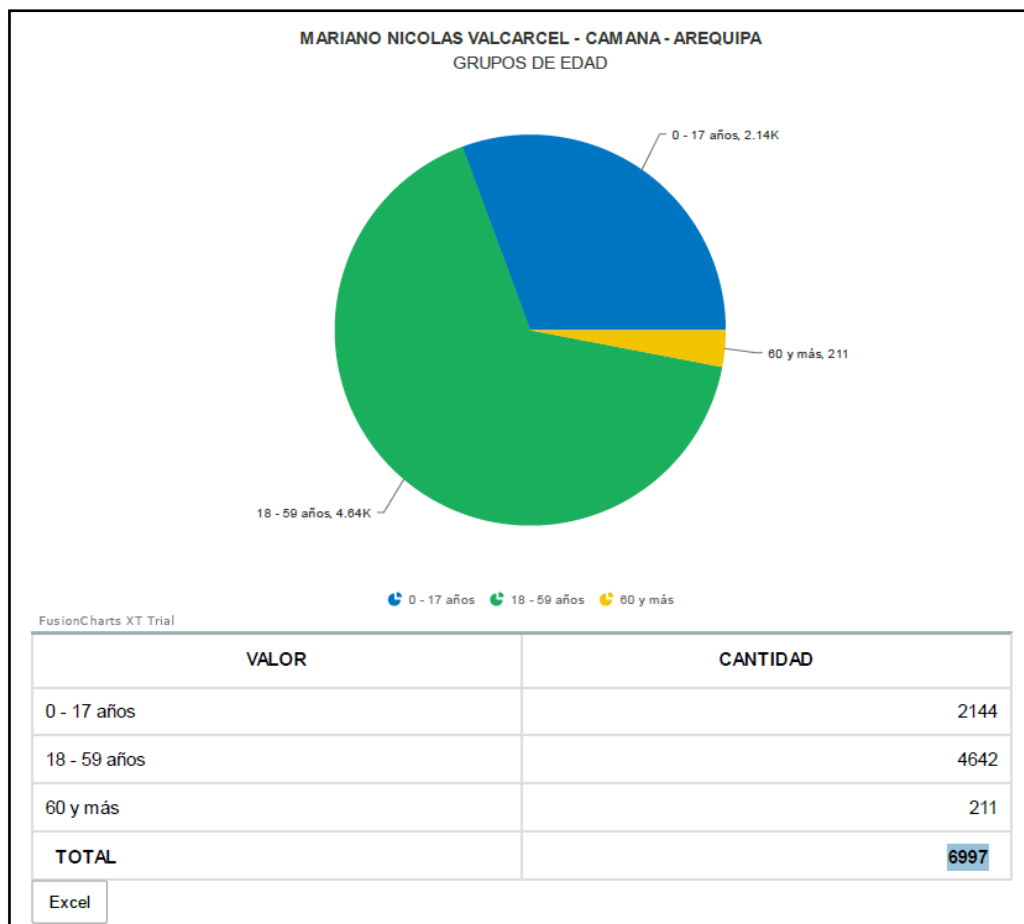


Gráfico 4. Población según grupo etario de Mariano Nicolas Valcárcel "Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas." Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (<https://cenepred.gob.pe/web/>)

2. DEFINICIONES

A continuación, se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

AGRIETAMIENTO (cracking): Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown): Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento, ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide): Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud" (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FRACTURA (crack): Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

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.

CAIDAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

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.

LAHARES: 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.

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.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló con base a la Geología del cuadrángulo de Caravelí (32-p). Pecho, V. (1998) Carta Geológica a escala 1:100 000 y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET, el cual es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000.

La geológica se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aérea y observaciones de campo. (Anexo 1).

3.1 UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

En el área evaluada, desde lo más antiguo al más reciente, afloran rocas según se detalla líneas abajo. La etiqueta de las unidades está basada en el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET

Complejo Basal de la Costa (PP-cbc-gn,mi): Conformado por Migmatitas con bandeamiento de feldespatos potásico y muscovita, ocasionalmente aparecen niveles

delgados de gneis. Las rocas se encuentran moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, afloran en inmediaciones del centro poblado Secocha.

Formación Río Grande - Jms-rg3: Conformado por tobas de cenizas interestratificadas con lavas de pórfido andesítico y tobas líticas. Las rocas se encuentran moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, afloran en inmediaciones del centro poblado Secocha y el sector el Venado.

Súper Unidad Sacota - Ki-s1-tn, gd: Presenta rocas con textura fanerítica granular, presenta cristales de cuarzo, plagioclasas, hornblenda (>1cm) y biotita hexagonal. Además, contiene xenolíticos de rocas máficas. Se caracteriza por rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, aflora en las partes altas del sector Secocha, y los sectores Pampaylima y Posco Misky.

Formación Moquegua - Miembro Superior - Po-mo/s4: Conformado por conglomerados polimícticos con clastos sub-angulosos de granodioritas, andesitas, basaltos y areniscas cuarzosas, envueltos en una matriz arenosa y hacia el techo delgados niveles de ignimbritas. El depósito se aprecia poco consolidados, aflora en las partes altas de los sectores Posco Misky, San Martín y La Poderosa.

Formación Moquegua - Miembro Inferior - Pe-mo/i4: Conformado por niveles de areniscas y limolitas rojas, hacia el techo con delgados niveles de yeso. El depósito se encuentra poco consolidados, aflora en las partes altas de los sectores Posco Misky, San Martín y La Poderosa.

Grupo Barroso - Miembro superior Np-b/s14: Unidad conformada por tobas retrabajadas, de color beige. Se encuentra moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, se aprecia en las partes altas, formando las cumbres de los cerros al Noroeste de San Martín

Depósitos coluviales Qh-cl: 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 de deyección en su desembocadura. Constituidos por gravas, arenas y limos; cuyos depósitos se encuentran poco consolidados. Aflora en los sectores Secocha, Pampaylima, Posco Misky y poco en San Martín y La Poderosa.

Deposito fluvial - Qh-fl: Acumulación de grava, arenas y limos, se aprecian poco consolidados. Aflora principalmente en el cauce del río Ocoña,

Depósito aluvial - Qh-al: Acumulación de cantos, grava, arenas y limos de composición heterogénea, son poco consolidados. Se ubican en las partes bajas, en las desembocaduras de las quebradas y sectores de piedemonte.

Depósito proluvial - Qh-pl: Conformado por bloques, grava, arenas y limos de composición heterogénea, son poco consolidados. Se ubican en las partes bajas, en las desembocaduras de las quebradas, abanicos o conos de deyección, principalmente están relacionados con los huaicos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1 Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°), en sectores encañonados pendientes muy escapados (>45°). (figuras 5 y 6).

Se elaboró un mapa de pendientes con base en el modelo de elevación digital (DEM), de 20 cm de resolución, elaborado a partir de fotogrametría con dron (Anexo 1).

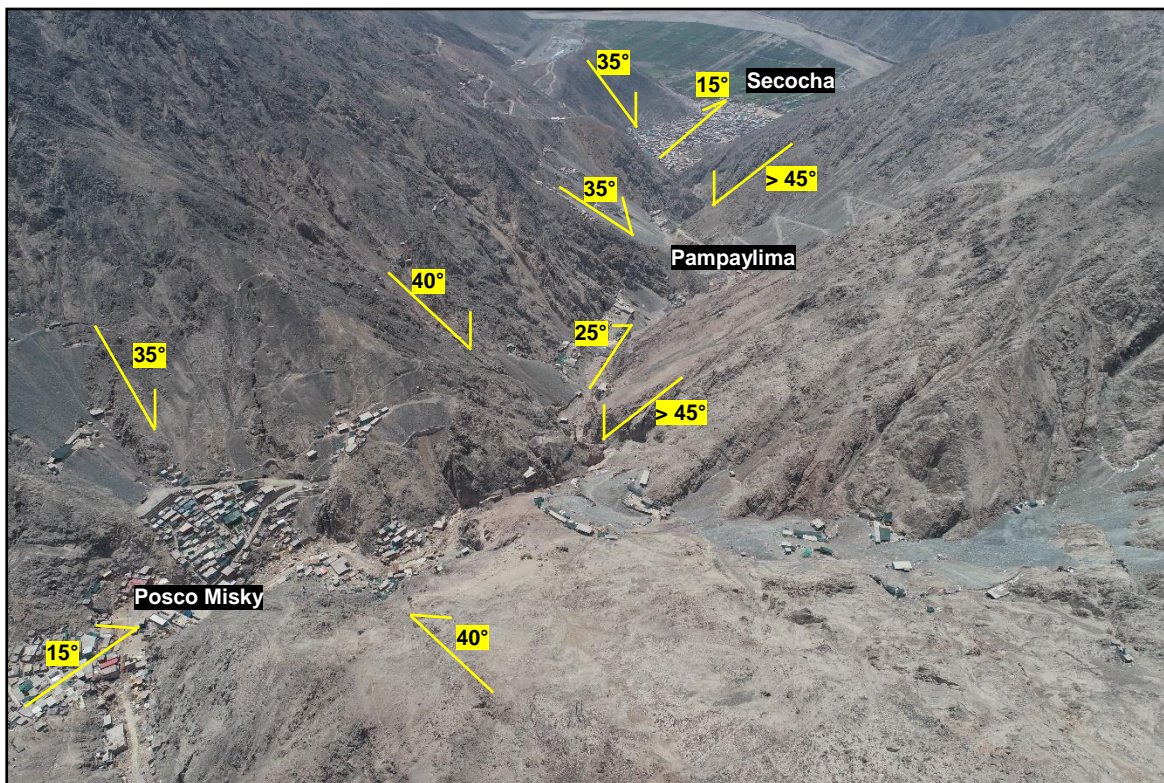


Figura 5. Pendientes en los sectores Posco Misky, Pampaylima y en el centro poblado Secocha.



Figura 6. Pendientes en el sector La Poderosa, (coordenadas UTM WGS84: 690752E, 8242800N)

Cuadro 4. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte

25 – 45	Muy fuerte a escarpado
>45	Muy escarpado

4.2 Unidades geomorfológicas

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

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

La evolución del relieve se presenta en el mapa geomorfológico (Anexo 1).

4.2.1 Geofomas de carácter tectónico degradacional o denudativos

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:

4.2.2.1 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 volcánica (RM-rv): Esta unidad geomorfológica posee un relieve agreste, con pendientes mayores a 45°, se presenta formando las altas cumbres y con superficies semiplanas. Litológicamente está compuesto por tobas de cenizas, interestratificadas con lavas de pórfido andesítico y tobas líticas. Esta subunidad es susceptible a generar derrumbes y caídas de rocas.

Montaña en roca intrusiva (RM-ri): Se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente mayores a 45°, compuesto por rocas intrusivas de la Súper Unidad Sacota, las cuales se encuentran moderadamente alteradas y medianamente fracturadas. Se identifico esta geoforma en la parte alta de los sectores Posco Misky, Pampaylima y el centro poblado Secocha. Esta subunidad es susceptible a generar caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos.

Montaña en roca metamorfica (RM-rm): Se encuentran conformando elevaciones alargadas y de pendiente muy fuerte y escarpados. Corresponde a afloramientos de rocas metamórficas tipo migmatitas. Esta subunidad es susceptible a generar caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos. Se ubica en la parte alta del centro poblado Secocha y el sector Pampaylima.

Montaña y colina estructural en roca sedimentaria (RMCE-rs): Unidad morfológica conformada por colinas, elevaciones alargadas de pendiente mayores a 45°. Litológicamente corresponde a rocas sedimentarias de la Formación Moquegua, conformada por conglomerados polimícticos con clastos sub-angulosos. Esta subunidad es susceptible a generar caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos. Se ubica en las partes altas del sector San Martín y La Poderosa

Montaña y colina en roca intrusiva (RMC-ri): Posee un relieve agreste, con colinas elevadas y alargadas de pendiente mayores a 45°, compuesto por rocas intrusivas de la Súper Unidad Sacota, las cuales se encuentran moderadamente alteradas y medianamente fracturadas. Se identificó esta geoforma en la parte alta del sector Posco Misky. Esta subunidad es susceptible a generar caída de rocas, derrumbes y avalancha de detritos.

4.2.2 Geoformas de carácter depositacional o agradacional

Están representadas por las formas de terreno resultado de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores; se tienen las siguientes unidades y subunidades:

4.2.2.1 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. En el área de estudio está representado por depósitos proluviales ubicados en el cauce de la quebrada Saca de Posco.

Abanico aluvial (Ab): Son conoides o abanicos de baja pendiente hacia el valle (2°- 15°), formadas por acumulaciones de material acarreado por flujos, en la desembocadura de quebradas y ríos tributarios; muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas, que se activan excepcionalmente con la presencia de lluvias excepcionales y prolongadas, que es cuando acarrear y depositan material, Gómez & Pari (2020). El centro poblado Secocha está ubicado sobre esta unidad, la cual es susceptible a generar flujos de detritos (huaicos).

4.2.2.2 Unidad de planicie

Son geoformas asociadas a depósitos coluviales, aluviales, proluviales y fluviales, limitados por depósitos de piedemonte o ladera de montaña, caracterizados por presentar pendientes bajas a llanas.

Terraza aluvial (T-al): Geoforma de origen denudacional y/o depositacional, forma bancos o graderías de sedimentación aluvial, ubicadas en los márgenes de las quebradas y frentes de conos de deyección, conformados por material subanguloso y subredondeado polimíctico, en matriz areno limoso. Se identificaron estas geoformas a los extremos bajos de la desembocadura de la quebrada Saca de Posco, en inmediaciones de centro poblado Secocha.

4.2.2.3 Unidad de planicie inundable

Geoformas llanas con ligeras ondulaciones se ubican cercanas a las riberas de un río, presentan gran extensión en los valles costeros.

Terraza fluvial (T-fl): Geoforma de origen denudativo y/o depositacional, en el poblado en inmediaciones del centro poblado Secocha, se identificó formando el cauce del río Ocoña, cuyo lecho fluvial del río es de 330 m de ancho y entre 4 a 8 m de profundidad aproximadamente.

5. MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA SACA DE POSCO

Área de la microcuenca, es la proyección horizontal del área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido-directa o indirectamente a un mismo cauce natural. El sitio que recoge toda la escorrentía que se produce en una cuenca hidrográfica se denomina punto de concentración o punto de cierre de la cuenca. Se calculo un área de 47802873 m² que equivale a 4780 ha.

La longitud del cauce principal medido desde el punto de concentración más alejado, hasta su desembocadura, posee un recorrido de 17 km de norte a sureste, hasta su desembocadura al río Ocoña

La cuenca tiene una cota de nacimiento de 2230 m s.n.m, una cota de confluencia con el río Ocoña de 400 m s.n.m. es decir posee un desnivel de 1830 m (gráfico 5). En base al nivel de pendientes desde su nacimiento hasta su desembocadura, se puede distinguir la zona alta, media y baja de la microcuenca, (figura 7).

En la parte alta se ubica el sector La Poderosa y San Martín; en la sección media, Posco Misky y Pampaylima; mientras que el centro poblado Secocha se ubica en la parte baja. (figura 8).

El sistema de drenajes de la microcuenca, según la clasificación de Strahler, alcanza el nivel 6, (figura 9).

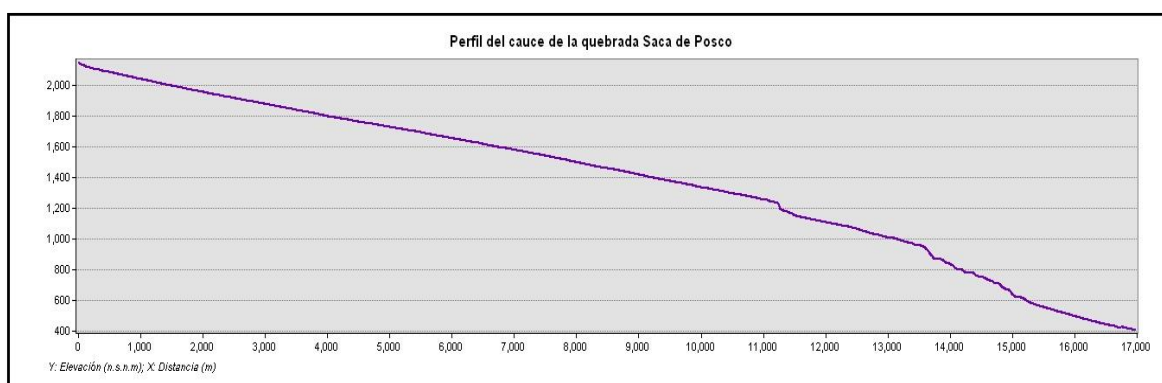


Gráfico 5. Perfil del cauce principal de la microcuenca.

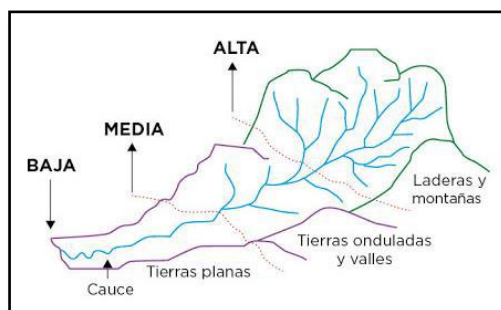


Figura 7. Perfil longitudinal de una microcuenca



Figura 8. Muestra la cuenca alta, media y baja, de la quebrada Saca de Posco.

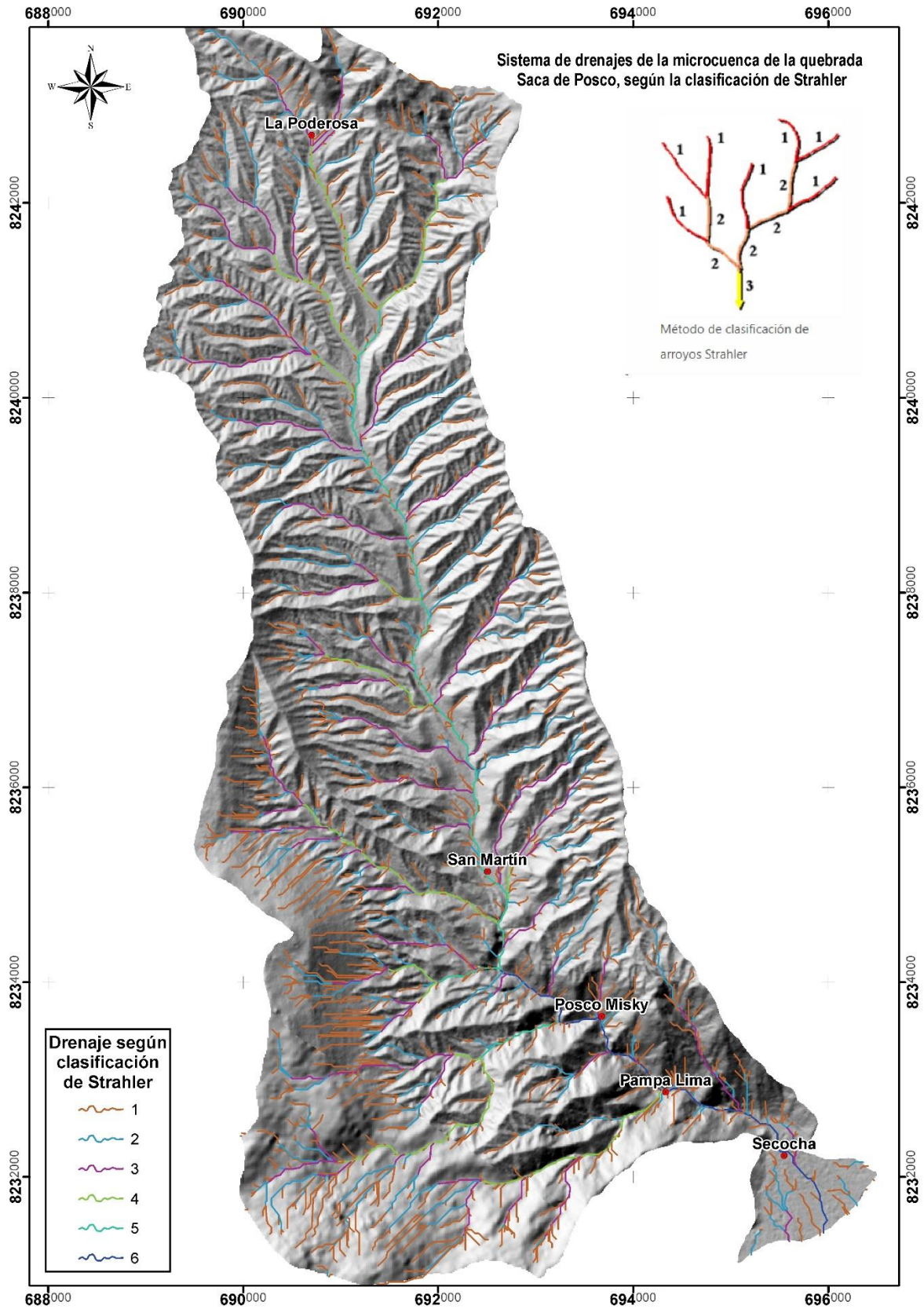


Figura 9. Sistema de drenajes de la microcuenca de la quebrada Saca de Posco, según la clasificación de Strahler

6. PELIGRO GEOLÓGICO

Los peligros geológicos identificados en los sectores La Poderosa, San Martín, Posco Misky, Pampaylima y el centro poblado Secocha, corresponden a movimientos en masa como flujo de detritos (huaico), caída de rocas y avalancha de detritos, como también procesos de erosiones de ladera. Tipificados según la clasificación de la guía para la evaluación de amenazas del Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007.

Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como por la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, 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, así como la presencia de fallas geológicas, anticlinales, sinclinales, inestabilizando las laderas rocosas y depósitos de eventos antiguos (Anexo 1).

6.1 peligros geológicos por movimientos en masa.

6.1.1 Huaicos (flujo de detritos)

En el cauce de la quebrada Saca de Posco, se identificaron antiguos depósitos de huaicos (flujos de detritos). Sobre ellas se asientan las viviendas de los sectores La Poderosa, San Martín, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha.

La Poderosa: Se ubica en la cabecera de la microcuenca, exactamente en la conjunción de las quebradas Saca de Posco y Quintín. En el lugar el cauce de la quebrada está poco definido, (figuras 10 y 11).

En el sector se idéntico depósitos antiguos de huaicos (flujo de detritos), (figura 12). a). Conformado por bloques (15 %), gravas (70 %) y arena y limo (15%). A la altura del desvío hacia el sector Eugenia, este posee hasta 3 m de potencia. Además, se observó bloques con diámetros de hasta 10 m. b). Se ubica al tope de la secuencia, está compuesto por bloques (10%), gravas (70%) englobados en una matriz areno-limosa (20%). Poseen hasta 30 cm de potencia.

Los bloques y gravas se caracterizan por tener formas subangulosas, son rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas de la Súper Unidad Sacota y depósitos no consolidados de la Formación Moquegua. Ambas unidades afloran en las laderas.



Figura 10. Sector La Poderosa



Figura 11. Sector La Poderosa, ubicado en el cauce de la quebrada Saca de Posco.



Figura 12. Depósitos antiguos de huaicos en el sector La Poderosa, (coordenadas UTM WGS84: 690692E, 8242629N)

San Martín: Se ubica en la zona alta de la microcuenca, donde la quebrada Saca de Posco se abre ligeramente formando un pequeño abanico; el cual fue aprovechado para la ocupación de viviendas. Por lo tanto, el cauce de la quebrada desapareció, (figura 13).

Las laderas presentan rocas poco consolidadas, representados por niveles de areniscas no litificadas, conglomerados polimícticos con clastos sub-angulosos y depósitos eólicos. Estos últimos son acumulaciones de arenas retrabajadas, provenientes de los niveles de areniscas no litificadas de la Formación Moquegua.

En la entrada al sector, se identificó dos antiguos depósitos de huaicos (flujo de detritos) (c y d), (figura 14). Sin embargo, en la zona ocupada por la población, estos fueron cubiertos por el depósito de huaico (flujo de detritos) del 5 de febrero del presente. El depósito está conformado por bloques (30 %), gravas (50 %) y arena y limo (20%). (Figura 15), erráticamente se apreció bloques hasta de 1 m.

Los bloques y gravas se caracterizan por tener formas subredondeadas a redondeadas, son rocas provenientes de la Súper Unidad Sacota y de la Formación Moquegua. Ambas unidades litoestratigráficas afloran en las laderas de la quebrada.

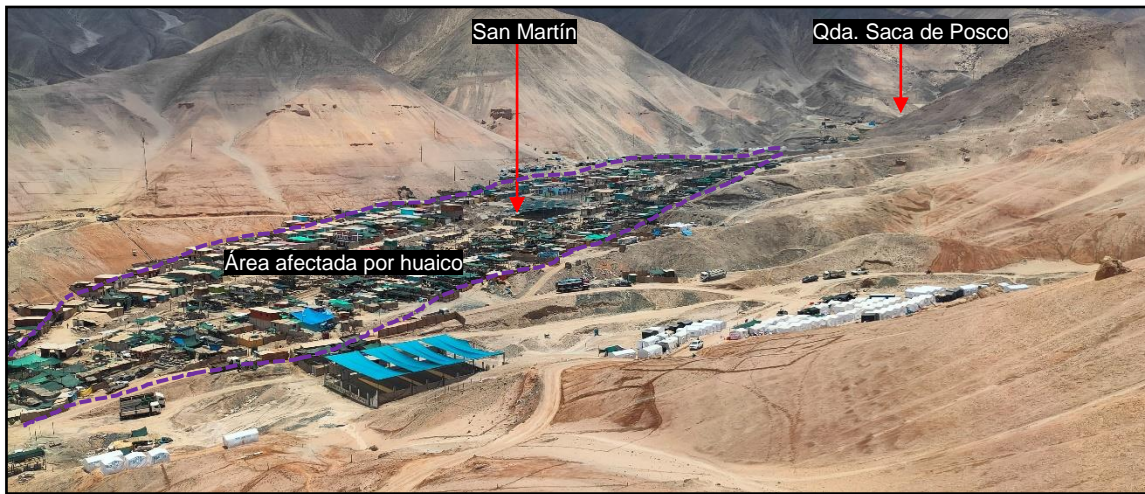


Figura 13. Muestra el área inundable por huaicos (flujo de detritos), en el sector San Martín



Figura 14. Depósitos de huaicos, en la entrada al sector San Martín, (coordenadas UTM WGS84: 692387E, 8235963N)



Figura 15. Depósito de huaico del 5 de febrero, en el sector San Martín, (coordenadas UTM WGS84: 692414E, 8235253N)

Posco Misky: Esta ubicado en la zona media de la microcuenca, donde la quebrada Saca de Posco se encañona, exhibiendo un cauce de entre 7 a 15 m; espacio empleado para la ocupación de viviendas y una calle principal que sigue el trazo del cauce (figura16).

Las laderas presentan rocas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas de la Súper Unidad Sacota. Asimismo, se aprecia abundante material suelto conformado por depósitos de canchales (material proveniente del desmonte de mina) los cuales son fáciles de ser incorporados en los huaicos (flujos de detritos)

La erosión y socavamiento generado por el huaico (flujos de detritos) del 5 de febrero del presente, sobre el terreno, ha expuesto hasta tres depósitos antiguos de flujos, dos de huaicos, (e y g), uno de flujo de lodo (a), formando un lente; tal como se muestra en la (figura 17).

El primer depósito de huaico (flujos de detritos) denominado (e) está conformada por bloques de hasta (20 %), seguido de gravas (50 %) y entre arena y limo (30%). El bloque más grande posee hasta 90 cm.

El segundo depósito se trata de un flujo de lodo (a), conformado por arena y limos (90%) y gravas (10%); formado un lente en la secuencia, separando dos depósitos de huaicos antiguos. Las arenas provienen desde la zona media y alta de la microcuenca, donde afloran

los niveles de areniscas no litificadas de la Formación Moquegua y depósitos eólicos antiguos que se encuentran en las laderas.

La secuencia termina con un depósito de huaico (flujos de detritos) denominado (f), el cual está conformado por bloques (5 %), gravas (70 %) y arena-limo (25%). El bloque de mayor tamaño posee hasta 30 cm.

Los bloques y gravas se caracterizan por tener formas subangulosas, son rocas provenientes de la Súper Unidad Sacota. Esta unidad litoestratigráfica aflora en las partes altas del sector.



Figura 16. Muestra el área inundable por huaicos (flujo de detritos), en el sector Posco Misky

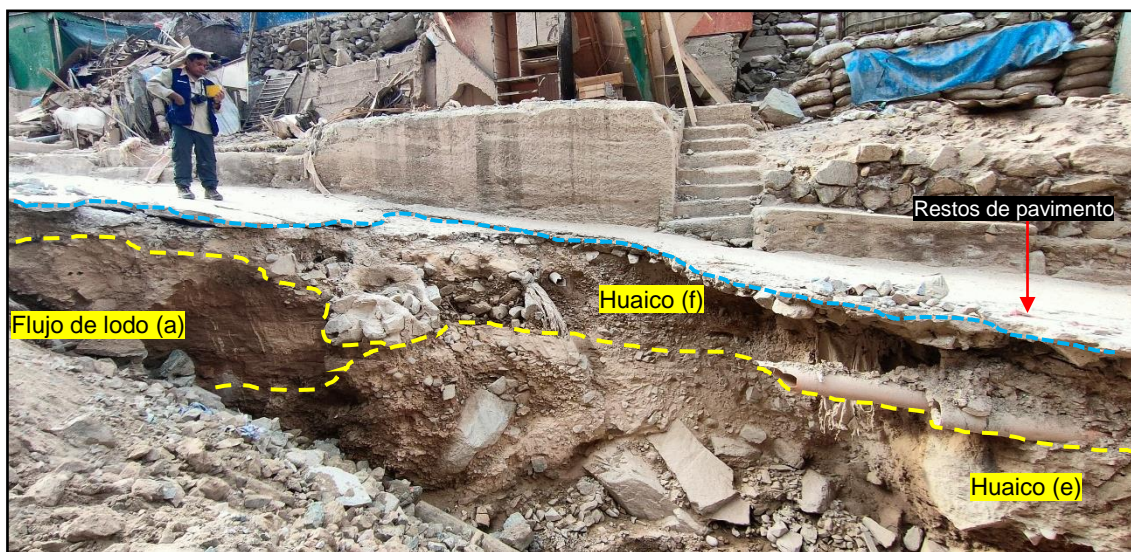


Figura 17. Depósitos flujos antiguos en el sector Posco Misky, (coordenadas UTM WGS84: 693342E, 8233601N)

Pampaylima: Esta ubicado la zona media de la microcuenca, donde la quebrada Saca de Posco se encañona, exhibiendo un cauce de entre 6 a 20 m; se encuentra ocupado por viviendas (figura 18).

Las laderas presentan rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas de la Súper Unidad Sacota y del Complejo Basal de la Costa. Asimismo, se aprecia abundante material suelto conformado por depósitos de canchales (material proveniente del desmonte de mina) los cuales son fácilmente incorporados como material en los huaicos (flujos de detritos), (figura 19).

En la margen izquierda, cerca al ápice del inicio de la desembocadura, se observó un depósito de huaico antiguo, que ha sido erosionado y cubierto parcialmente por el depósito del evento del 5 de febrero, el cual está conformado por bloques (70 %), gravas (25 %) y arena-limo (5%). El bloque de mayor dimensión llega a medir hasta 3 m. El depósito llegó a tener hasta 6 m de altura (figura 20)

Los bloques y gravas se caracterizan por tener formas subangulosas, son rocas provenientes de la Súper Unidad Sacota y del Complejo Basal de la Costa, el bloque más grande mide hasta 3 m, hay una predominancia de bloques con diámetros comprendidos entre 1 y 1.5 m.



Figura 18. Muestra el área inundable por huaicos (flujo de detritos), en el sector Pampaylima.



Figura 19. Depósito de canchales en el sector Pampaylima, (coordenadas UTM WGS84: 694307E, 8232879N)



Figura 20. Depósito antiguo de huaico en el sector Pampaylima, (coordenadas UTM WGS84: 694690E, 8232736N)

Centro Poblado Secocha: Esta ubicada en la zona baja de la microcuenca, en la desembocadura de quebrada Saca de Posco, se abre formando un abanico proluvial con pendiente ligeramente tendida, cuyo espacio ha sido aprovechado para la ocupación de viviendas y calles del centro poblado, (figura 21).

El abanico está formado por las sucesivas acumulaciones de depósitos antiguos de huaicos (flujo de detritos). Geológicamente es denominado depósito proluvial, está compuesto por bloques, grabas, arenas y limos, materiales provenientes desde las partes altas, de los depósitos de huaicos encontrados en los sectores, La Poderosa, San Martín, Posco Misky y Pampaylima.

Sobre las laderas de la quebrada Saca de Posco y afluentes, se tiene material susceptible de ser removido (canchales de mina y depósitos coluviales propiamente dicho), que se encuentran en forma de talud de detritos. El terreno presenta pendiente fuerte a muy fuertes y escarpados.

El paso de los huaicos sobre las laderas erosiona la base de los depósitos de canchales (material proveniente del desmonte de mina), e incorporan el material al volumen del flujo.

El abanico en la parte inicial (ápice) posee aproximadamente 14 m, y en su sección más amplia posee hasta 1580 m, limitado por el cauce del río Ocoña. Asimismo, con base en un análisis multitemporal del abanico, se identificó que el cauce de la quebrada ha estado migrando sucesivamente desde la margen izquierda hacia la margen derecha (figuras 22 y 23), sin embargo, el cauce para 2004 presentó un cambio abrupto en su dirección, aparentemente este fue redireccionado por acumulación de sedimentos. (figura 24a), en esta misma imagen se observa una vía carrozable que cruza el sector, la misma que en la actualidad se encuentra sobre una de las principales calles del centro poblado Secocha (figura 24b).



Figura 21. Centro poblado Secocha ubicado en el abanico o cono de deyección de la microcuenca de la quebrada Saca de Posco.



Figura 22. Primer cauce de la quebrada, en el sector Secocha (imagen del Google Earth, 2004)



Figura 23. Segundo cauce de la quebrada, en el sector Secocha (imagen del Google Earth, 2004)



Figura 24. En (a) se observa el cauce de quebrada en el 2004 (imagen del Google Earth, 2004), en (b) no se observa el cauce de la quebrada, (imagen actual actual).

6.1.2 Caída de rocas y avalancha de detritos

En la sección encañonada de la quebrada Saca de Posco, se identificaron laderas con pendientes fuertes ($15^\circ - 25^\circ$), muy fuertes a escarpados ($25^\circ - 45^\circ$) hasta muy escarpadas ($>45^\circ$). En las partes bajas se asientan las viviendas de los sectores, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha.

En San Martín la caída de rocas se presenta desde el cerro buena vista, y en La Poderosa se aprecia avalancha de detritos en el sector Rodadero.

Sector La Poderosa: Se tienen canchales provenientes de antiguas avalancha de detritos en el cerro Rodadero, se aprecia también desmonte de mina, (figuras 25 y 26). El origen está ligado a la actividad antropogénica. En el área las rocas son moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, pertenecen a la Súper Unidad Sacota.



Figura 25. Avalancha de detritos de origen antropogénico en el sector La Poderosa.



Figura 26. Canchales en el cerro Rodadero, (coordenadas UTM WGS84: 690760E, 8242781N)

San Martín: En este sector se aprecian caída de rocas, principalmente desde el cerro Buena Vista, la sima de este está formado por niveles de areniscas no litificadas y hacia el techo afloran niveles de ignimbritas, las areniscas se aprecian poco consolidadas, mientras que las ignimbritas se presentan moderadamente alteradas y medianamente fracturadas, pertenecen a la Formación Moquegua, (figuras 27, 28 y 29).



Figura 27. Caída de rocas en el cerro Buena Vista.



Figura 28. Bloques de Ignimbritas en las laderas del cerro Buena Vista, (coordenadas UTM WGS84: 692448E, 8235511N)



Figura 29. Bloques de areniscas en las laderas ubicadas en el ingreso al sector San Martín, (coordenadas UTM WGS84: 692829E, 8235125N)

Posco Misky: Esta ubicado en la sección encañonada de la quebrada Saca de Posco. Las laderas presentan pendientes muy fuertes a escarpados ($25^\circ - 45^\circ$) hasta áreas muy escarpadas ($>45^\circ$), y están conformadas por rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas de la Súper Unidad Sacota, (figuras 30, 31 y 32).

Durante movimientos sísmicos, los bloques colgados en las laderas, podrían desprenderse y caer, afectado principalmente a las viviendas, campamentos mineros y la única vía de acceso.



Figura 30. Caída de rocas en el sector Catarata en la entrada al sector Posco Misky, (coordenadas UTM WGS84: 692643E, 8234507N)

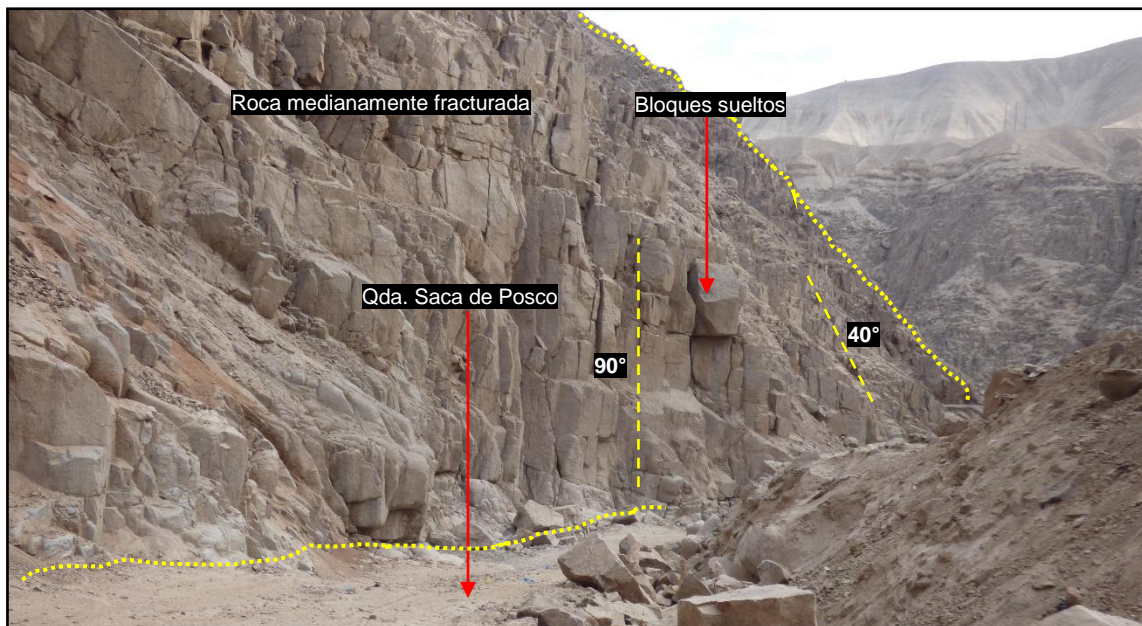


Figura 31. Caída de rocas en la entrada al sector Posco Misky, (coordenadas UTM WGS84: 692692E, 8234356N)

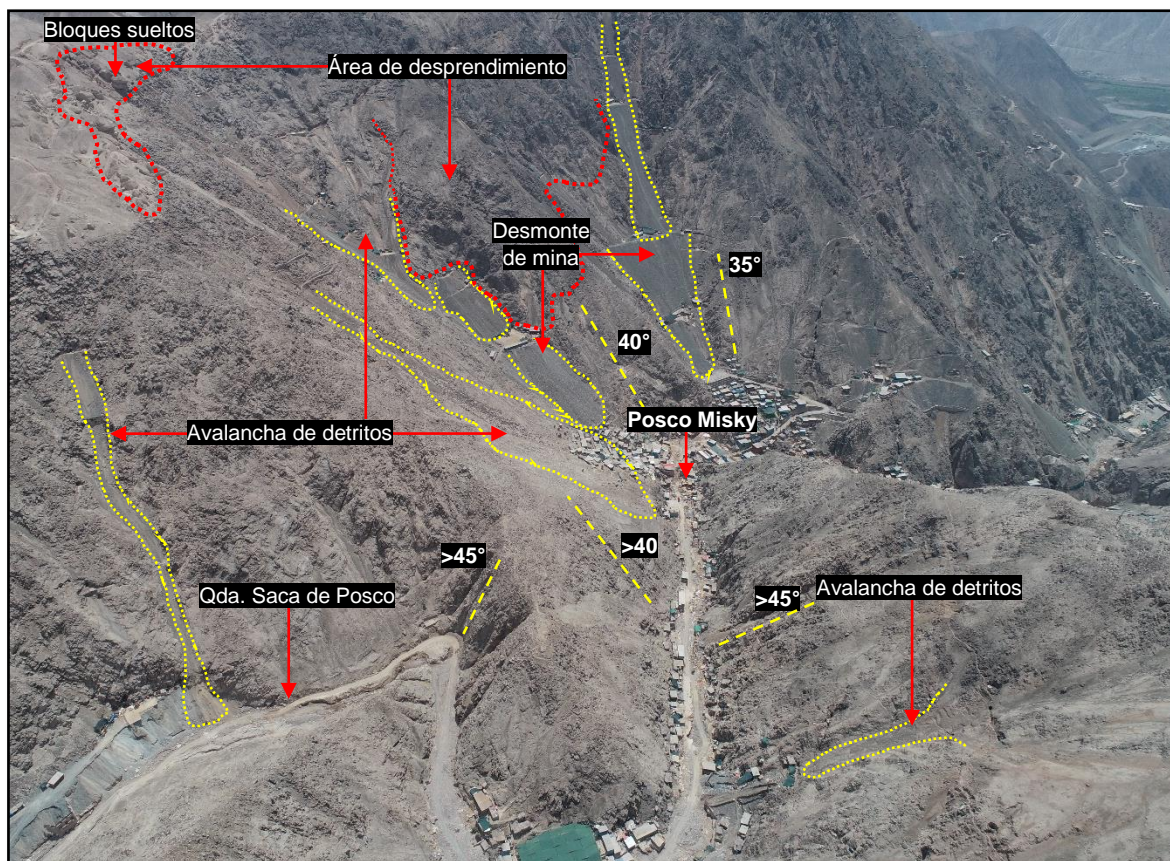


Figura 32. Caída de rocas, avalancha de detritos y desmonte de mina colgado, en Posco Misky.

Pampaylima: Al igual que el sector anterior, este se ubica en la sección encañonada de la quebrada Saca de Posco, donde las laderas presentan pendientes muy fuertes a escarpados ($25^\circ - 45^\circ$) hasta áreas muy escarpadas ($>45^\circ$) y están conformadas por rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas de la Súper Unidad Sacota, (figuras 33, 34 y 35).



Figura 33. Caída de rocas y avalancha de detritos en el acceso al sector Pampaylima, (coordenadas UTM WGS84: 694636E, 8232809N)

En el sector Pampaylima, de generarse movimientos sísmicos, los bloques colgados en las laderas, podrían desprenderse y ceder cuesta abajo, lo que va afectar principalmente viviendas y campamentos mineros. Asimismo, se evidencian peligros por avalancha de detritos, muchos de los cuales son de origen antropogénico, se evidencian formados depósitos de canchales (desmante de mina).



Figura 34. Depósito de canchales, avalancha de detritos de origen antropogénico, sector Pampaylima.

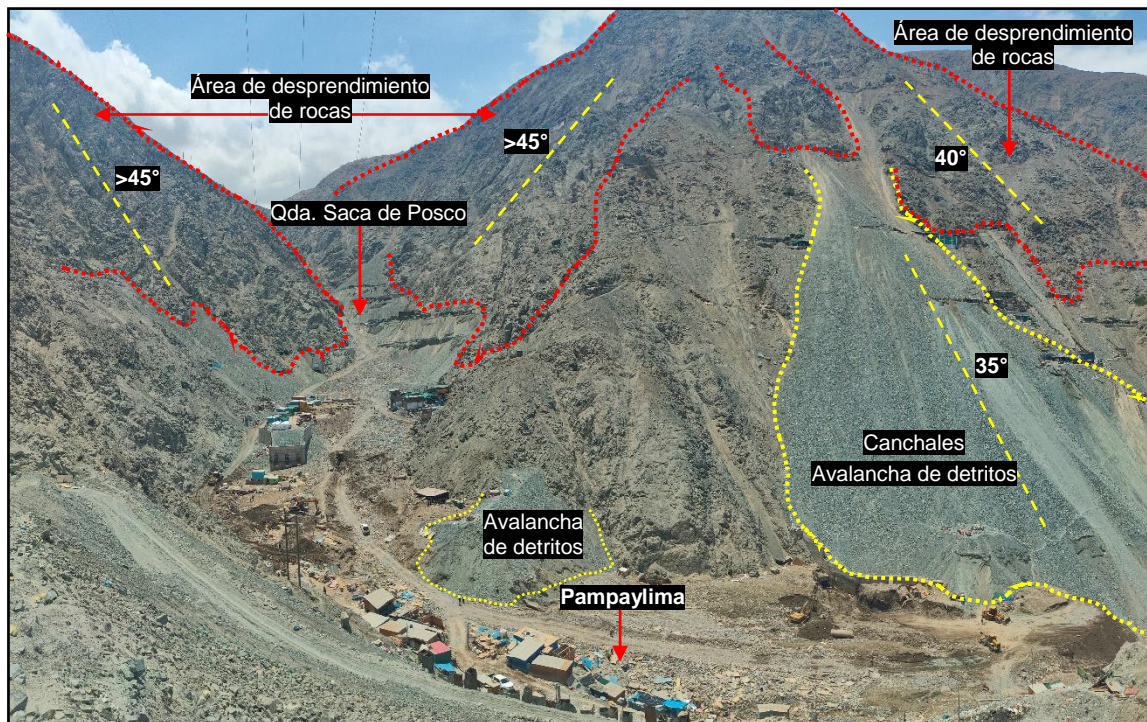


Figura 35. Peligros geológicos por caída de rocas y avalancha de detritos, en el sector Pampaylima.

Centro Poblado Secocha: Los peligros por caída de rocas y avalancha de detritos se presentan en laderas empinadas con pendientes escarpadas ($25^\circ - 45^\circ$) hasta áreas muy escarpadas ($>45^\circ$). En el área afloran rocas moderadamente alteradas y medianamente fracturadas del Complejo Basal de la Costa, conformado por Migmatitas con bandeamiento de feldespato potásico y muscovita, ocasionalmente aparecen niveles delgados de gneis. Es en esta unidad litoestratigráfica donde se desarrolla la mayor actividad minera en el sector.

Los peligros geológicos por caída de rocas y avalancha de detritos se, presenta en ambas márgenes de la quebrada Saca de Posco, principalmente en la parte alta de la carretera trocha que une el centro poblado Secocha con el sector La Antena, (figuras 36 y 37).

Durante el proceso de expansión urbana, las viviendas del centro poblado Secocha vienen ocupando las partes bajas de la margen derecha del valle de Ocoña. Se emplazan principalmente sobre depósitos aluviales. También están ocupando laderas que presentan pendientes mayores de 30° y sectores que se encuentran sobre canchales (desmante de mina) y antiguas avalanchas de detritos (figuras 38 y 39).

Para un mejor entendimiento se realizó un análisis multitemporal de los depósitos de avalancha de detritos. Se contrastaron imágenes del 2004 e imagen de la actualidad. (imágenes tomadas del Google Earth), (figuras 40 y 41).

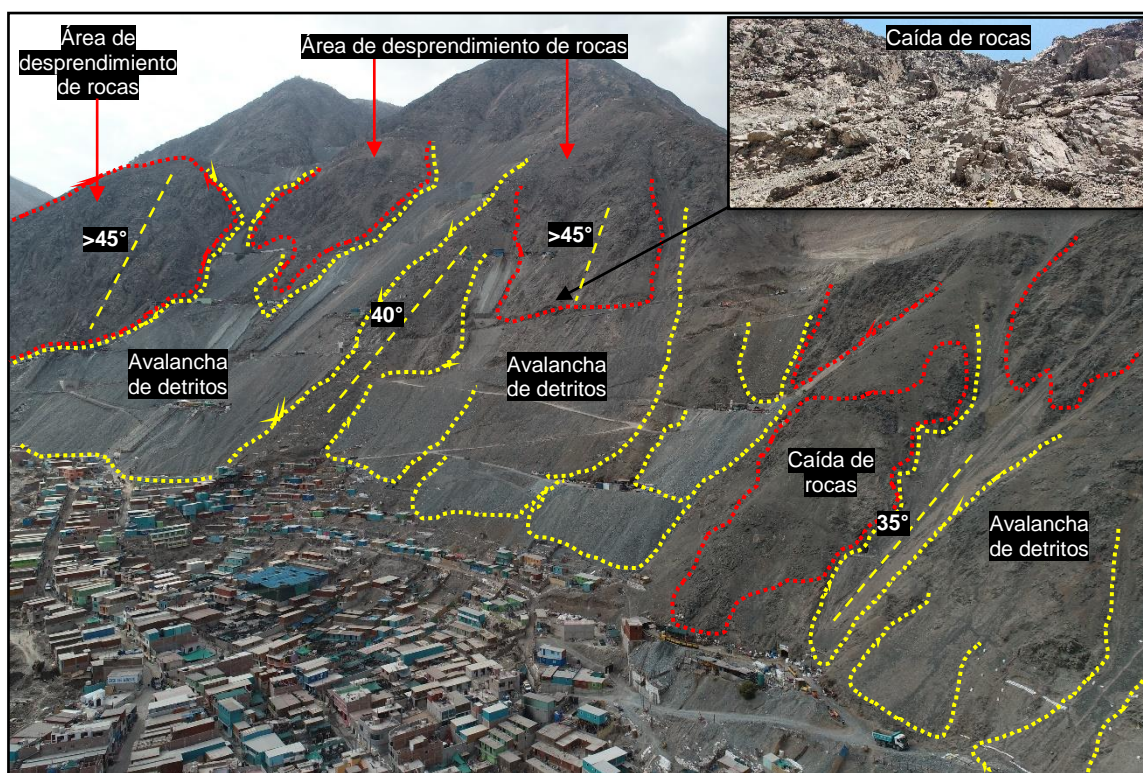


Figura 36. Peligros geológicos por caída de rocas y avalancha de detritos, en el centro poblado Secocha, margen izquierda.

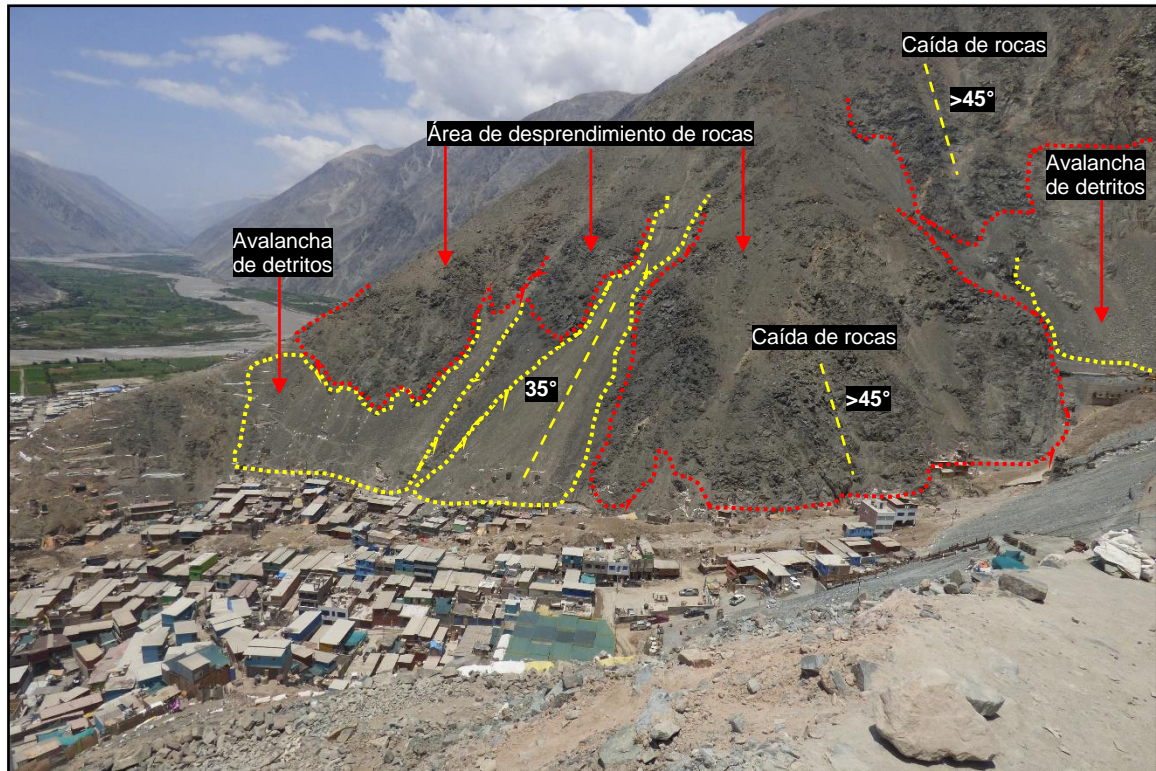


Figura 37. Peligros geológicos por caída de rocas y avalancha de detritos, en el centro poblado Secocha, margen derecha de la quebrada Saca Posco.



Figura 38. Peligros geológicos por avalancha de detritos y caída de rocas, en la entrada al centro poblado Secocha, margen derecha del río Ocoña.



Figura 39. Parte baja del sector La Antena, se observa viviendas están asentadas sobre depósitos de avalancha de detritos.

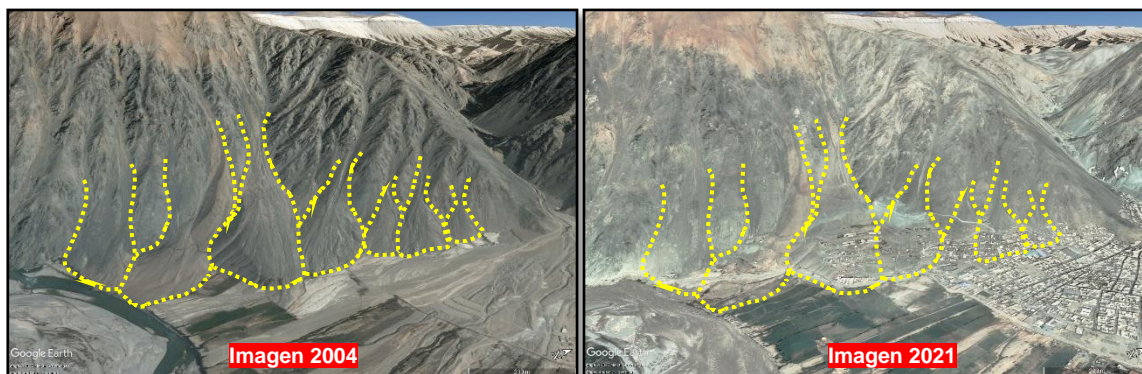


Figura 40. Análisis multitemporal de peligros geológicos por avalancha de detritos en la entrada al centro poblado Secocha, margen derecha del río Ocoña.



Figura 41. Análisis multitemporal de peligros geológicos por avalancha de detritos en la parte baja del sector La Antena, en centro poblado Secocha, margen derecha del río Ocoña.

6.1.3 Procesos de erosión de ladera (cárcavas)

Es otro tipo de peligros geológico, que aporta material a los cauces de las quebradas, rellenando los cauces de material suelto, es de fácil movilización.

Los procesos de erosión de ladera (cárcavas) se observaron principalmente en la parte alta y media de la microcuenca de la quebrada Saca de Posco, (figuras 42 y 43).

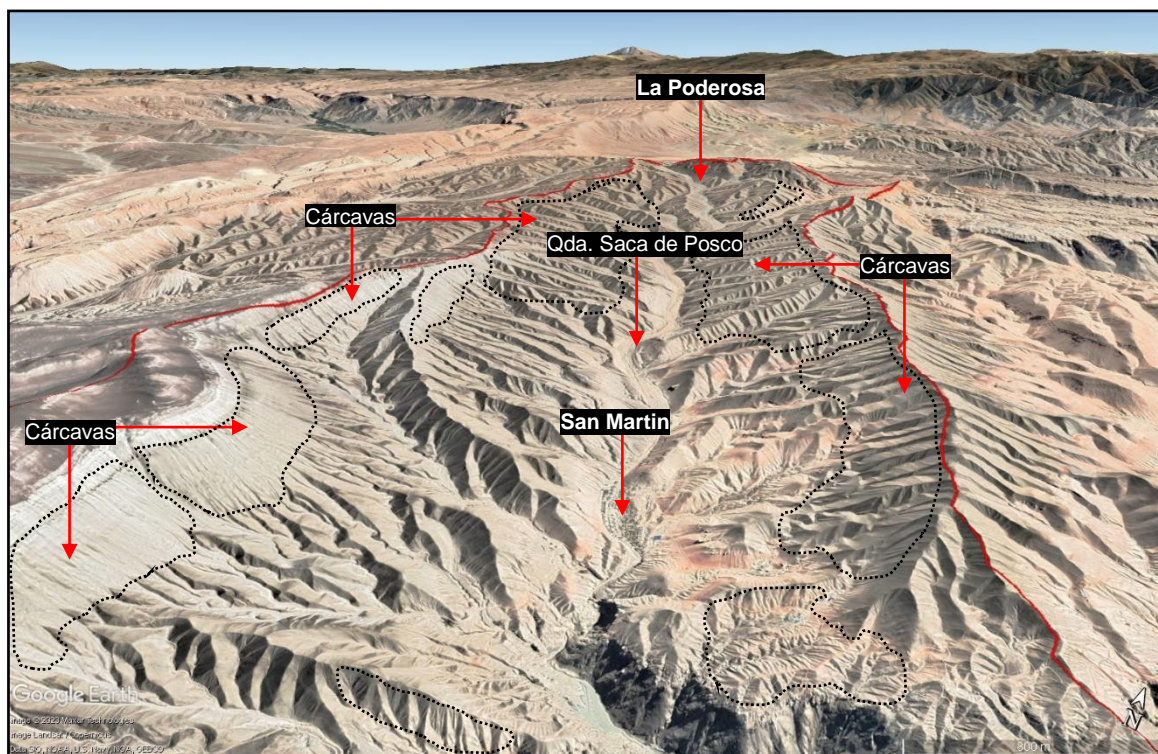


Figura 42. Procesos de erosión de ladera en (cárcava), en la parte alta y media de la micro cuenca de la quebrada Saca de Posco.

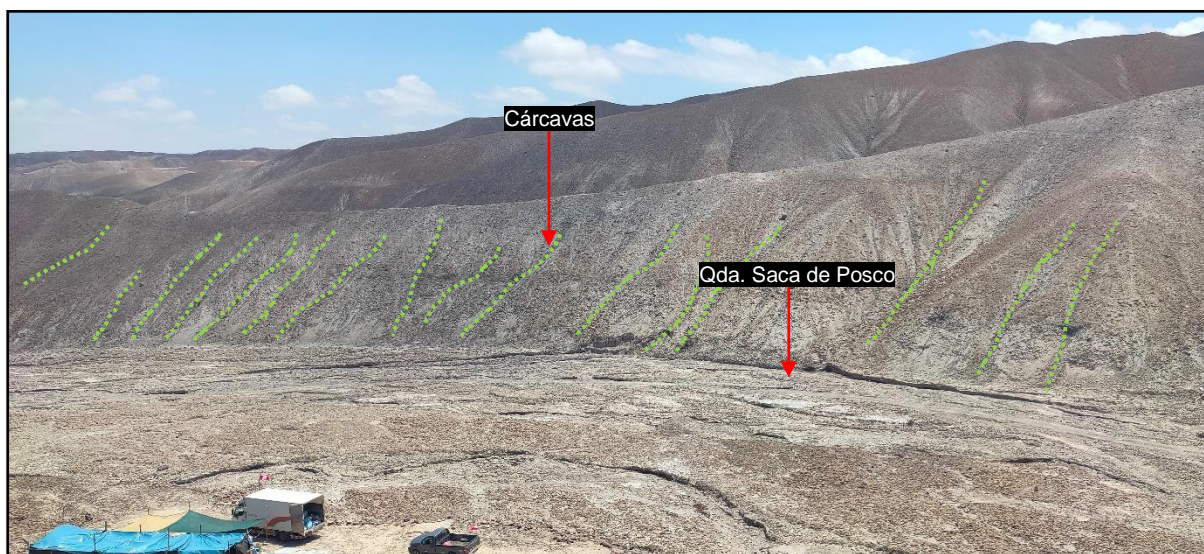


Figura 43. Procesos de erosión de ladera en (cárcava), en la parte alta la micro cuenca de la quebrada Saca de Posco, (coordenadas UTM WGS84: 690648E, 8242383N)

Muchas veces estos procesos de erosiones de ladera (fotografía 1), han generado flujos de detritos, que han aportado material suelto a la quebrada principal.



Fotografía 1. Se muestra los procesos de erosiones ladera, margen derecha de la quebrada Saca Posco, antes de entrar al poblado de San Martín, (coordenadas UTM WGS84: 691539E, 8238797N)

6.2 Características del huaico (flujo de detritos) del 05 febrero del 2023

Este huaico ocurrió aproximadamente a 14:00 horas, detonados por una intensa lluvia ocurrida en la microcuenca de la quebrada Saca de Posco.

Según el registro meteorológico del SENAMHI, con base en la interpolación de datos obtenidos de las estaciones próximas al área afectado, el día domingo 05/02/2023, la precipitación fue de hasta 46 mm. Sin embargo, días previos el terreno fue humedecido por precipitaciones de hasta 5 mm el día viernes 03/02/2023 y el sábado 04/02/2023, la precipitación fue de hasta 26 mm, ver figuras 3 y 4.

Este es un patrón repetitivo en los flujos más recientes ocurridos en el sur del Perú:

- Aplao en Arequipa, ocurrido el 7 de febrero del 2019
- Mirave en Tacna, ocurrido el 8 de febrero del 2019
- Alto de la Alianza en Tacna, ocurrido el 21 de febrero del 2020

Se calculó que el volumen de material que origino el huaico fue de 1800000 m³, más adelante se explicará el método que se aplicó para obtener dicho volumen.

Para un mejor entendimiento del huaico ocurrido el 05 de febrero y su afectación a los sectores La Poderosa, San Martín, Posco Misky, Pampaylima y el centro poblado Secocha, se hará una descripción desde su origen en la parte alta o cabecera de la microcuenca hasta su desembocadura.

Parte alta o cabecera de la microcuenca: En esta se encuentran los sectores La Poderosa y San Martín, zona donde se inicia el huaico (figuras 44 y 47), es en estos puntos donde incorpora abundante volumen de materiales sueltos y humedecidos, disponibles en las laderas (provenientes de los procesos de erosión de laderas) y en el fondo de las quebradas.

La Poderosa se ubica en la cabecera de microcuenca, por tal motivo el sector fue afectado moderadamente por el huaico, en contraste con los sectores ubicados aguas abajo.

No se aprecia el depósito del huaico, pero si la huella del flujo. Además, se evidencia la erosión generada por el paso del flujo. El cauce ha sufrido un ensanchamiento de hasta 2.5 m y profundización por socavamiento de hasta 50 cm, (figuras 45 y 46).

Las viviendas están construidas a base a esteras y pocos son de material prefabricado. Las más afectadas se ubican próximas a los ramales del huaico. Este evento afectó aproximadamente el 80% del total de las viviendas.



Figura 44. Ramales del huaico del 5 de febrero en el sector La Poderosa

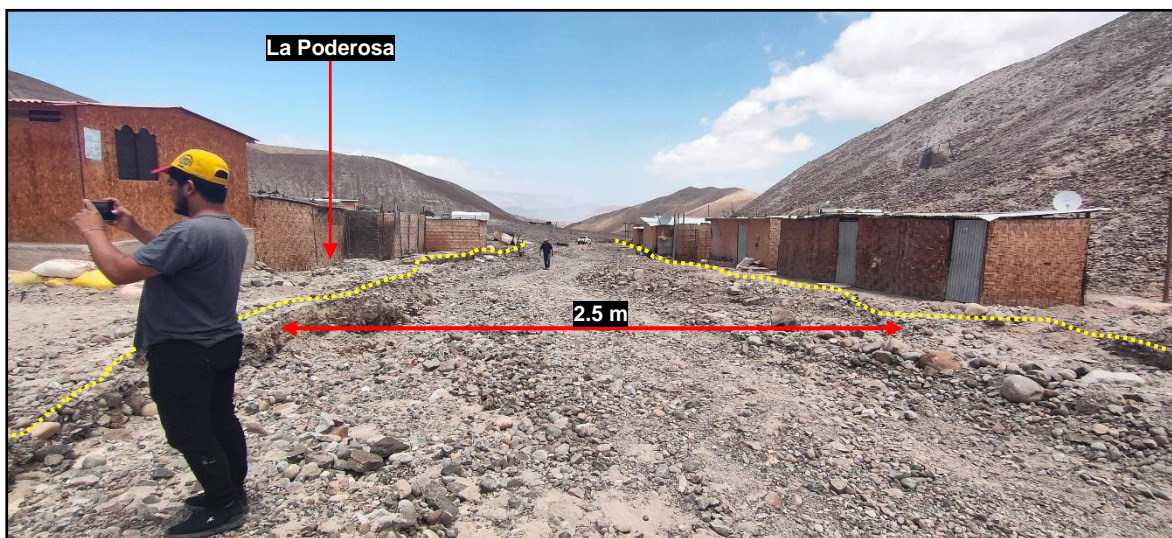


Figura 45. Ensanchamiento del cauce por el paso del huaico en el sector La Poderosa

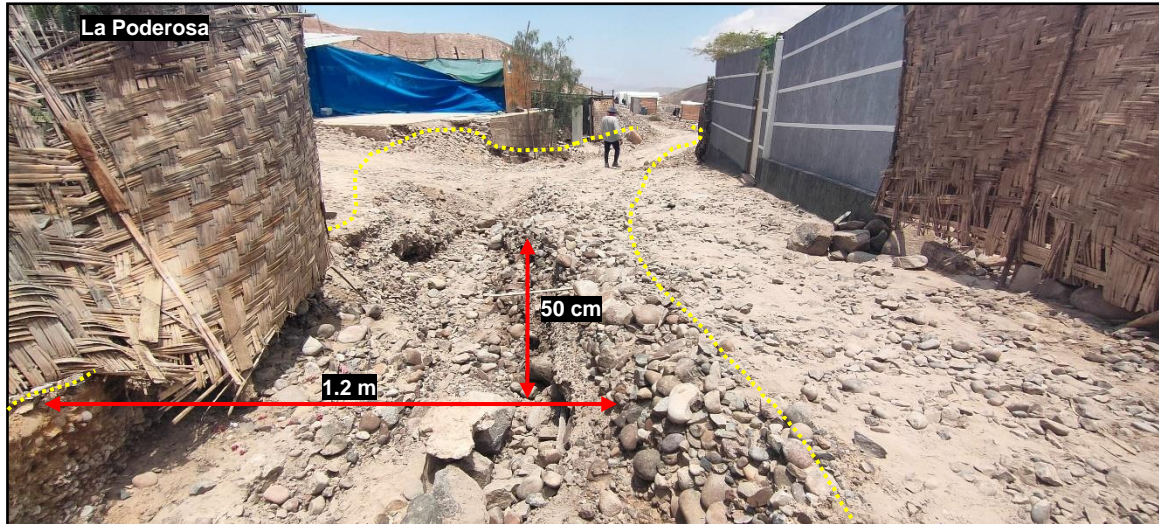


Figura 46. Ensanchamiento y profundización del cauce por el paso del huaico en el sector La Poderosa, (coordenadas UTM WGS84: 690680E, 8242716N)

San Martín. En la parte final, cerca de la zona de transición entre la parte alta y media de la microcuenca, la quebrada se abre ligeramente formando un pequeño abanico, lugar donde se asientan las viviendas del sector **San Martín**, (figura 47). En este punto el huaico se ramificó buscando su cauce natural, el cual se pierde al entrar a la zona urbana, este fue rellenado para la ocupación de viviendas, por lo tanto, el huaico ingresó por las calles dispuestas en dirección del flujo, afectando gravemente a las viviendas, (figuras 48, 49, 50 y 51).

En este punto se evidencia el depósito del huaico, el cual está conformado por bloques (30 %), gravas (50 %) y dentro de una matriz areno-limoso (20%); los bloques de mayor tamaño poseen hasta 1 m de diámetro mayor. (figura 15).



Figura 47. Vista en planta de los ramales del huaico en el sector San Martín



Figura 48. Vivienda ubicada en el cauce de la quebrada, punto en el que se unen los ramales; únicamente se mantienen los muros dispuestos en la misma dirección del flujo, (coordenadas UTM WGS84: 692608E, 8234978N)



Figura 49. Cancha deportiva ubicada en el cauce de la quebrada, fue afectado por el huaico del 5 de febrero.



Figura 50. Viviendas afectadas por el huaico del 5 de febrero.



Figura 51. Puesto de salud San Martín ubicado en el cauce de la quebrada, fue afectado por el huaico del 5 de febrero.

Parte media de la microcuenca: En esta sección, inicia la zona de transporte del huaico. Asimismo, el fondo de la quebrada posee entre 6 a 20 m, donde se asientan las viviendas de los sectores Posco Misky y Pampaylima.

En ambos sectores el cauce de la quebrada ha sido ocupado por viviendas y calles que siguen el curso de la quebrada. El huaico del 5 de febrero descendió buscando su cauce natural arrasando todo lo que encontró a su paso, (figuras 52, 53 y 54)

En Posco Misky existe poca evidencia del depósito del huaico, principalmente se conservan en las partes externas de las sinuosidades de la quebrada. Sin embargo, se observan marcas o huellas del flujo de hasta 8 metros, esto indica la altura que alcanzó el huaico durante su paso por este sector; estas se aprecian en las paredes de las viviendas y afloramientos rocosos.

El depósito del huaico, está conformado por escombros, bloques (30%), gravas (45%) dentro de una matriz areno-limoso (25%).

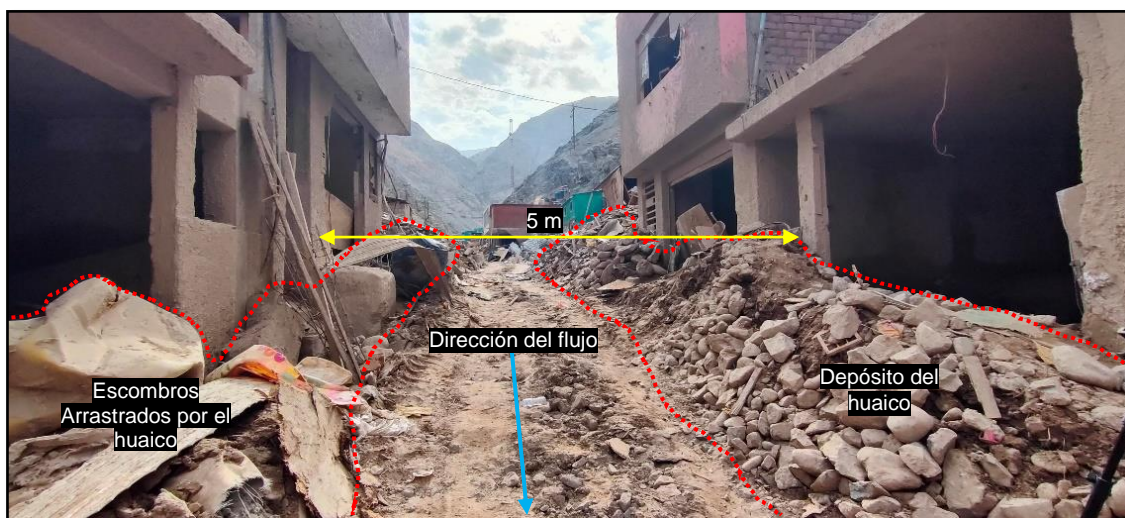


Figura 52. Viviendas afectadas por el huaico del 5 de febrero, sector Posco Misky.



Figura 53. Viviendas afectadas por el huaico del 5 de febrero, sector Posco Misky. Se observa los depósitos de escombros (restos de viviendas arrastradas).



Figura 54. Área inundada por huaico y zonas erosionadas, sector Posco Misky.

En Pampaylima: La quebrada se amplía hasta los 20 m, en ella se evidencia el depósito del huaico, el cual está conformado por bloques (30 %), gravas (50 %) y dentro de una matriz areno-limoso (20%); los bloques de mayor tamaño poseen hasta 1.2 m de diámetro mayor. (figuras 55 y 56). Se observa que el huaico erosiona y arrastra (canchales) materiales de acumulación minera.

En la parte baja de Pampaylima la quebrada se acorta hasta 4 m de ancho, donde se aprecia la marca o huella del flujo, de hasta 8 m el cual indica la altura que alcanzó el huaico durante su paso por este sector, (figuras 57 y 58)



Figura 55. Depósito de huaicos recientes en el sector Pampaylima.



Figura 56. El huaico afecto algunas labores mineras, (coordenadas UTM WGS84: 694387E, 8232882N)



Figura 57. Huella del huaico del 5 de febrero, en la parte baja del sector Pampaylima, (coordenadas UTM WGS84: 694602E, 8232836N)



Figura 58. Huella del huaico de hasta 8 m, en la parte baja del sector Pampaylima, (coordenadas UTM WGS84: 694668E, 8232709N)

En Secocha: La quebrada se abre formando un abanico o cono de deyección, donde el huaico del 5 de febrero, ha depositado todos los materiales arrastrados desde la parte media y alta de la microcuenca de la quebrada Saca de Posco. Está conformado por bloques (30 %), gravas (50 %) y dentro de una matriz areno-limosa (20%); los bloques de mayor tamaño poseen hasta 1.3 m de diámetro mayor.

Cuando el huaico entra a la zona urbana, se desvía hacia la margen derecha, debido a que en el medio del cauce se ubica una vivienda de material noble de tres pisos, (figura 59).



Figura 59. Huaico en la parte inicial del abanico, sector Secocha, (coordenadas UTM WGS84: 695121E, 8232667N)

El huaico afecto principalmente a las viviendas ubicadas en la margen derecha de la quebrada, posteriormente el flujo siguió por las calles (figuras 60, 61, 62 y 63).



Figura 60. Huaico en la parte inicial del abanico sector Secocha, muestras las calles por las que descendió el flujo.

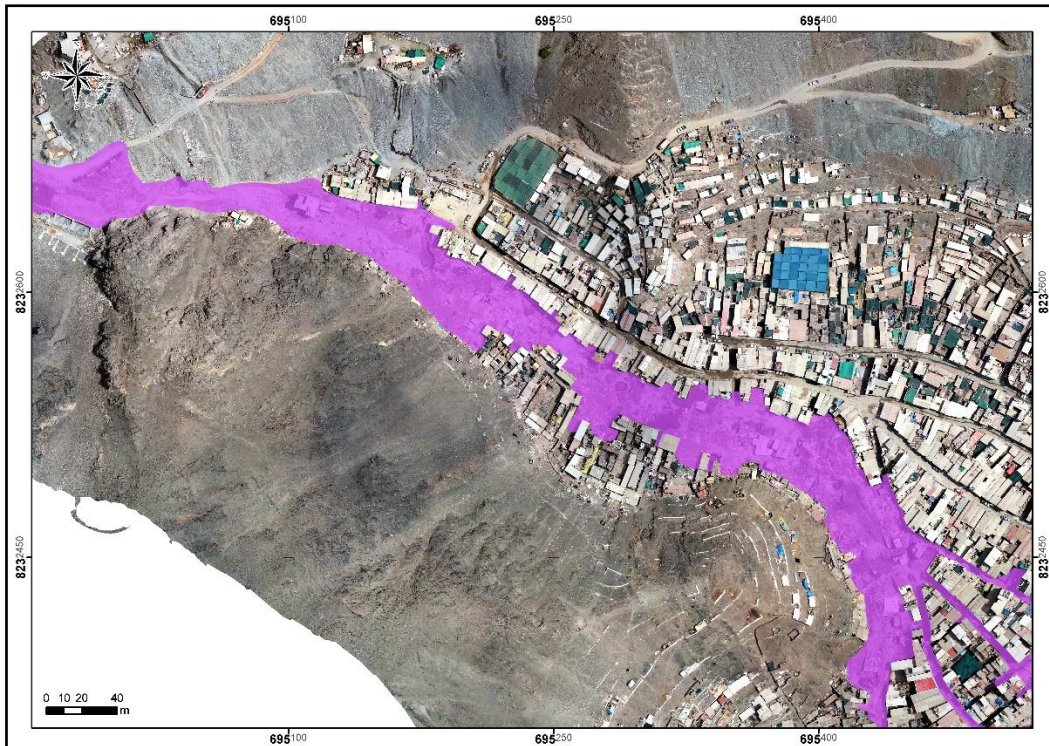


Figura 61. Huaico del 5 de febrero en Secocha (polígono de color morado)

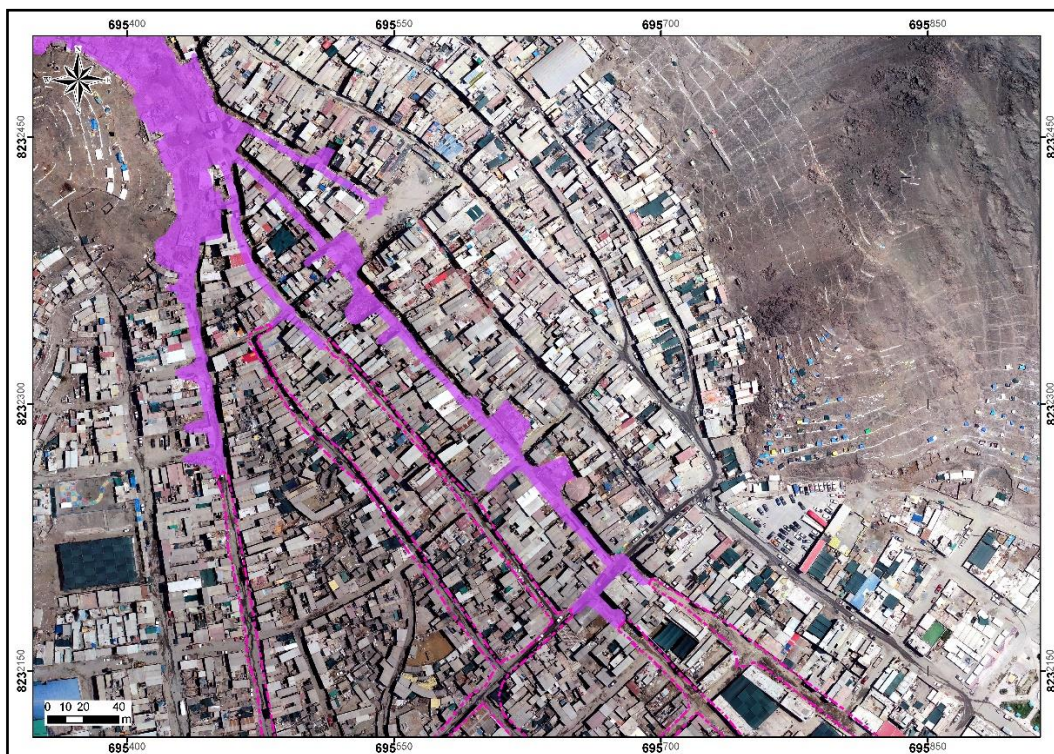


Figura 62. Huaico del 5 de febrero en Secocha, parte media (polígono de color morado), y zonas afectadas por la fracción fina del flujo (polígono de líneas punteadas de color rosado)

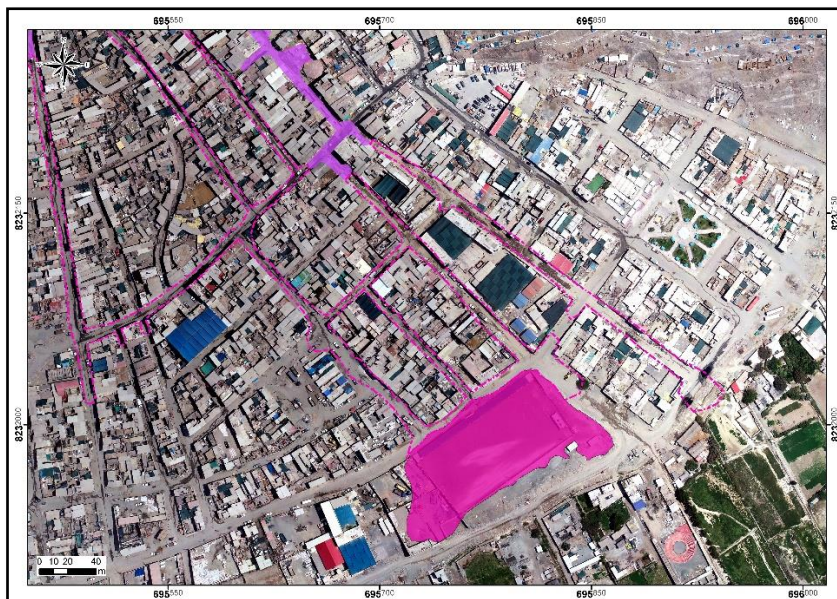


Figura 63. Huaico del 5 de febrero en Secocha parte baja (polígono de color morado); zonas afectadas por la fracción fina del flujo (polígono de líneas punteadas de color rosado) y también se muestra la parte final del flujo, donde se aprecia como flujo de lodo (polígono de color rosado)

El huaico en la parte final tiene un comportamiento como flujo de lodo, prueba de ellos son los depósitos más distantes del envete, se visualizan en el estadio de Secocha (fotografía 2 y 3)



Fotografía 2. Flujo de lodo en el estadio de Secocha, (coordenadas UTM WGS84: 695802E, 8231989N)



Fotografía 3. Flujo de lodo en el estadio de Secocha, parte final del evento de 5 de febrero, (coordenadas UTM WGS84: 695868E, 8231990N)

6.3 Factores condicionantes

- En la cuenca alta y media se tienen conglomerado no litificadas (Formación Moquegua), que son de fácil erosión y aportan material suelto a la quebrada. En la cuenca media y baja se tienen afloramientos de intrusivos (Súper Unidad Sacota) moderadamente meteorizados y medianamente fracturados y tobas (Formación Río Grande), masivas y moderadamente meteorizadas. En la cuenca baja se tiene gneís (Complejo Basal de la Costa), muy fracturada y medianamente meteorizada.
- Depósitos coluviales ubicados en las laderas y pie de las colinas, que son de fácil erosión y remoción, además de depósitos proluviales, proveniente de las quebradas afluentes a la quebrada Soco Posco, que son de fácil erosión y remoción. Al igual que los depósitos encontrados en el mismo cauce de la quebrada principal.
- Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25° - 45°), en sectores encañonados pendientes muy escapados (>45°), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo
- Abundante material suelto en las laderas de la cuenca alta y media que es fácilmente erosionable, principalmente proveniente del proceso de meteorización de las rocas sedimentarias, como también de las intrusivas.
- El flujo al entrar en los sectores mineros de Posco Misky y Pampa Lima erosionó la base de los depósitos de canchales (material proveniente del desmonte de mina), e incorporó el material al volumen de los flujos del 5 de febrero.

6.4 Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias; las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al desplazamiento. El huaico del 5 de febrero se generó por lluvias intensas y/o prolongadas, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú la precipitación fue de 46 mm. Previas al día del flujo (05 febrero), hubo lluvias que llegaron a saturar al terreno.
- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, derrumbes y avalanchas de detritos. Como también desestabilizar los depósitos de canchales provenientes del desmonte de mina.
 Según el diseño sismorresistente, del reglamento nacional de edificaciones, aprobada por decreto supremo N°011-2006-vivienda. La zona evaluada se ubica en la zona 3, con un factor Z de 0.35. "El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad

7. SIMULACION DE HUAICO (FLUJO DE DETRITOS)

La simulación de flujos de detritos (lahares) fue realizado con el código VolcFlow, (Kelfun et al., 2005), el cual 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 correr los distintos 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)”

7.1 Volumen del huaico (flujo de detritos)

El parámetro de volumen 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, debido a que se obtuvieron buenos resultados.

El volumen de un flujo de detritos está dado por la sumatoria del volumen de agua y el de sedimentos, en base a porcentajes proporcionales. Por lo tanto, el volumen total de un flujo está dado 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 64), cuyo límite horizontal está dado por el divortium aquarium 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).

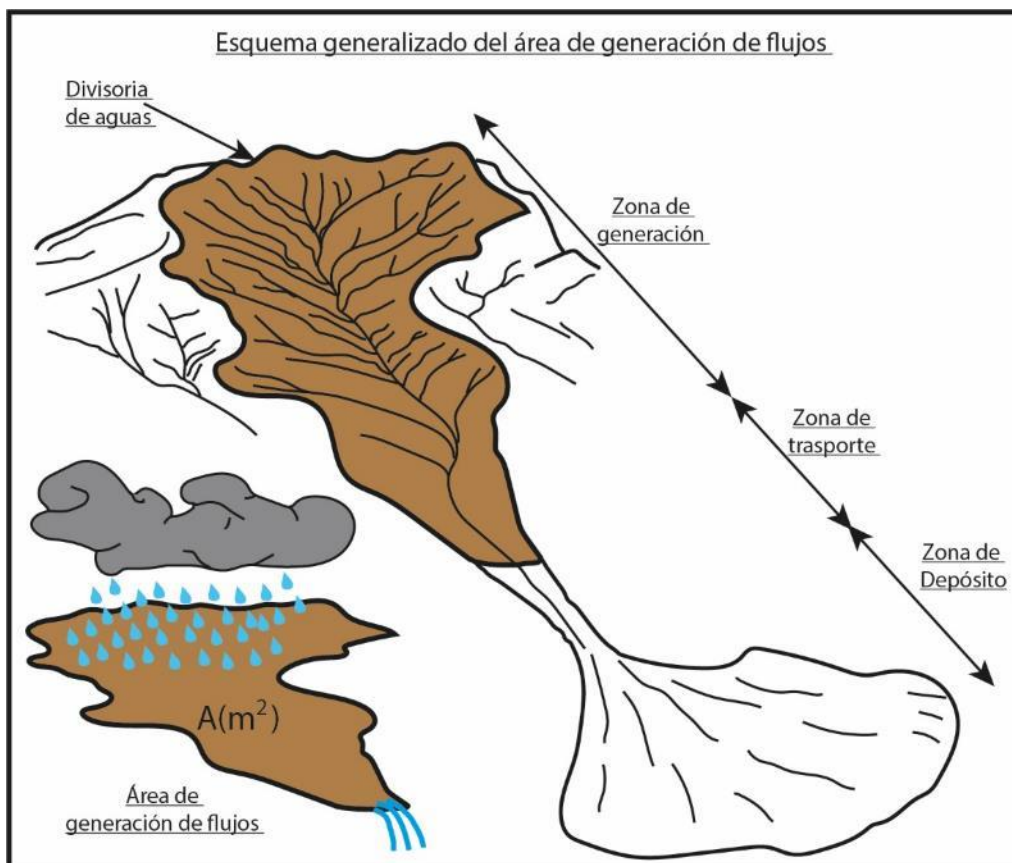


Figura 64. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y lahares secundarios (Soncco., et al 2021).

El volumen de agua se representa por:

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

Donde:

- Pn (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 Caraveli, desde 1963 hasta 2013. La mayor precipitación es de aproximadamente 30 mm. y en la estación de Yanaquihua, desde 1963 hasta 2012. La mayor precipitación es de aproximadamente 68 mm. (gráficos 1 y 2)

Asimismo, para el análisis del evento de huaico (flujo de detritos) del pasado 5 de febrero del presente, se tomó en cuenta la precipitación 46 mm, valor interpretado de las gráficas presentadas por SENAMHI, (figura 4).

Para el huaico del 5 de febrero, 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 65).

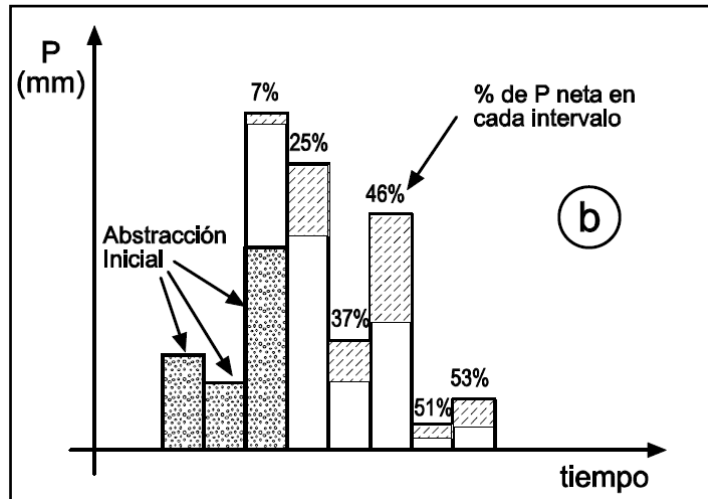


Figura 65. Después de un umbral inicial (o abstracción inicial), el porcentaje de precipitación neta aumenta progresivamente. Sánchez, F. J. (2011).

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

- 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 Saca de Posco, el área de generación del huaico mide 33791884 m², la precipitación del 5 de febrero fue de 46 mm, por lo tanto, la precipitación neta fue de 32 mm; consideraremos una relación de (60%) de agua y sedimentos (40%)

Después de realizar los cálculos matemáticos, el volumen del huaico del 5 de febrero fue de **1,800,000 m³, un millón ochocientos mil metros cúbicos.**

7.2 Resultados de simulación de huaico (flujo de detritos)

El objetivo de las simulaciones de huaicos (flujo de detritos) es mostrar los sectores que podrían ser afectados por estos, lo cual se emplea como herramienta principal en la ubicación de áreas idóneas para la reubicación de las localidades.

Según los resultados de las simulaciones, el abanico donde está ubicado el centro poblado Secocha sería afectado. En base a estos resultados y a la presencia de depósitos de huaicos antiguos, se plantea reubicar las viviendas de Secocha.

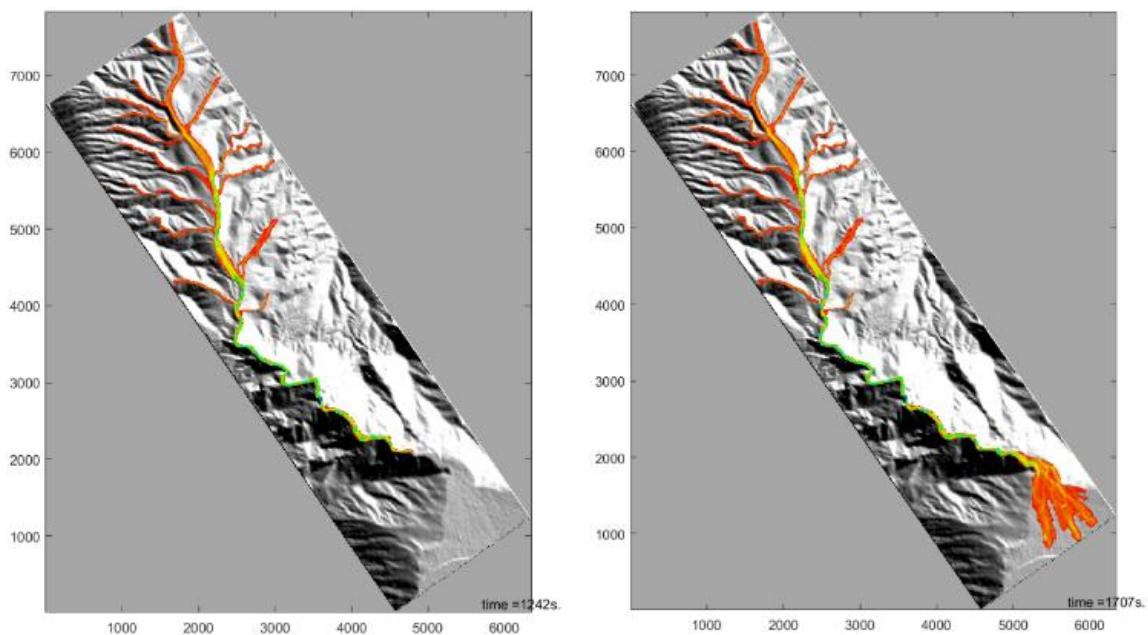


Figura 66. simulación de huaico (flujo de detritos) en la quebrada Saca de Posco.

8. TERRENOS PROPUESTOS PARA LA REUBICACIÓN

Por las condiciones que presenta el terreno, es necesario reubicar viviendas afectadas; para ello se tomaron las siguientes acciones:

- a) Para determinar las posibles zonas de reubicación de los sectores afectados se realizaron reuniones de coordinación con representantes de las localidades, personal de la municipalidad distrital e INGEMMET.
- b) Las áreas propuestas fueron propuestas por representantes de los poblados afectados, se realizó la verificación de campo. En gabinete se ejecutó una fotointerpretación en base a imágenes satelitales del Google Earth.
- c) En los trabajos de campo, se verificó insitu las áreas propuestas, con la finalidad de evitar que las áreas puedan ser afectadas por algún tipo de peligro geológico.
- d) Se realizaron simulaciones de huaicos en quebradas próximas a las áreas propuestas para reubicación, para una mejor delimitación de ellas.
- e) Se consideraron posibles áreas de reubicación para los sectores La Poderosa, San Martín y Posco Misky; sin embargo, en el área de estudio no se encontraron áreas idóneas para la reubicación del centro poblado Secocha y la localidad Pampaylima.

En las áreas propuestas, actualmente no se tienen evidencias de procesos por movimientos de masa recientes, sin embargo, la futura zona urbana deberá ceñirse únicamente al área del polígono entregado en el presente informe técnico.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, es necesario implementar obras de mitigación de peligros geológicos en áreas próximas a las zonas de reubicación para evitar la generación de procesos de movimientos en masa.

8.1 Medidas a implementar antes de la ocupación urbana

Antes de ser ocupada las áreas propuestas, es necesario realizar lo siguiente:

- a) Estudios de suelos para determinar su capacidad portante, con la finalidad de fijar el tipo de cimentación de las futuras viviendas.
- b) No realizar cortes del terreno en forma indebida. Si se llegaran a realizar deberán contar con un estudio geotécnico orientado a estabilidad de taludes.
- c) Realizar un drenaje pluvial debido a las condiciones climáticas relacionadas a las lluvias que ocurren en la zona, para la evacuación de aguas de lluvia.
- d) Definir los cauces principales de las quebradas. Por ningún motivo los cauces no deben ser ocupados para viviendas.

Área 1

Para la reubicación de la localidad La Poderosa: esta se encuentra en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) (cuadros 5):

Cuadro 5. Coordenadas de área propuesta para la reubicación de la localidad La Poderosa.

N°	NORTE	ESTE
1	8242899.04	690608.04
2	8242953.94	690623.92
3	8243036.62	690739.01
4	8243028.68	690763.49
5	8242820.32	690762.82
6	8242759.95	690774.18
7	8242754.84	690746.29
8	8242840.83	690686.76

Se ubica en el sector denominado Rodadero, al norte del actual poblado La Poderosa, a una distancia de 270 m, posee un área de 2.58 ha

Este terreno se encuentra sobre una colina sedimentaria (conglomerados de la Formación Moquegua), las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°).

Se podrían generar huaicos en las quebradas ubicadas en los extremos suroeste y sureste del área propuesta. Los cuales podrían afectar las vías de acceso a la zona. Por ello se debe canalizar el cauce de la quebrada, y construir obras para el manejo de problemas por huaicos. Asimismo, en el extremo norte, implementar medidas de mitigación contra caída de rocas y avalancha de detritos (anexos 1 y 2).

En las laderas del cerro, se tienen procesos de erosiones de ladera en forma insipiente, para su control se debe forestar (fotografía 4)



Fotografía 4. Se muestra las cimas de la colina, área propuesta para la reubicación. Parte alta del actual poblado La Poderosa, (coordenadas UTM WGS84: 690744E, 8242905N)

Áreas 2 y 3

Para la reubicación de la localidad San Martín: estas se encuentran en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) (cuadros 6 y 7): son dos polígonos separados por una pequeña quebrada.

Cuadro 6. Coordenadas de la primera área propuesta para la reubicación de la localidad San Martín

N°	NORTE	ESTE
1	8235492.31	692405.14
2	8235521.09	692433.75
3	8235476.12	692551.78
4	8235428.86	692599.29
5	8235385.84	692549.83
6	8235362.40	692543.35
7	8235334.09	692556.52
8	8235261.22	692565.15
9	8235226.30	692561.76
10	8235316.23	692490.84

Se ubica en la parte baja del cerro Buena Vista, al norte del actual poblado San Martín, a una distancia de 100 m, posee un área de 2.41 ha.

Geomorfológicamente se encuentra en la cima de una colina, la cual presenta pendiente menores a 5°.

Cuadro 7. Coordenadas de la segunda área propuesta para la reubicación de la localidad San Martín

N°	NORTE	ESTE
1	8235376.16	692573.24
2	8235408.70	692619.77
3	8235292.49	692736.96
4	8235121.77	692678.99
5	8235219.95	692592.66

Se ubica en el sector Cerro Colorado, al Este del actual poblado San Martín, a una distancia de 150 m, posee un área de 2.68 ha, (fotografía 5).



Fotografía 5. Se aprecia la cima de una colina, para uso de ella solo ocupar la parte de la cima, (coordenadas UTM WGS84: 692730E, 8235278N)

Las áreas se encuentran sobre depósitos de la Formación Moquegua, las pendientes de los terrenos varían de suavemente inclinado (1° - 5°) a moderado (5° - 15°).

Los peligros geológicos podrían generarse desde el extremo noreste, principalmente caída de rocas. Por ello, se debe construir obras para el manejo de problemas por caída de rocas.

Además, se debe canalizar el cauce de la quebrada que pasa por el medio de las áreas propuestas. (anexos 1 y 2).

Área 4

Para la reubicación de la localidad Posco Misky: Esta se encuentra en las siguientes coordenadas UTM (WGS 84) (cuadro 8):

Cuadro 8. Coordenadas del área propuesta para la reubicación de la localidad Posco Misky

N°	NORTE	ESTE
1	8235085.49	692739.20
2	8235158.69	692734.61
3	8235210.55	692797.05
4	8234799.60	693001.63
5	8234735.70	692951.71
6	8234729.10	692878.79

Se ubica en la ladera izquierda de la quebrada Saca de Posco, a la altura de la carretera de acceso a la localidad de San Martín, al sureste del actual poblado de San Martín, a una distancia de 350 m, posee un área de 5.61 ha. (fotografía 6).



Fotografía 6. Se aprecia el albergue temporal, ubicado al pie de una colina, (coordenadas UTM WGS84: 692780E, 8235133N)

El área se encuentra sobre depósitos de la Formación Moquegua, las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°).

Los peligros geológicos podrían generarse desde el extremo Este, principalmente caída de rocas. Por ello, se debe construir obras para el manejo de problemas por caída de rocas, para ello primero se debe desatar los bloques sueltos que se encuentran en la ladera. Asimismo, implementar medidas de corrección para los procesos de erosión de ladera que se presentan en el sector. (anexos 1 y 2).

9. CONCLUSIONES

1. En la cuenca alta y media de la quebrada Saco de Posco afloran conglomerados no litificados (Formación Moquegua), que ante lluvias son de fácil erosión. En la cuenca media y baja, se tienen intrusivos (Súper Unidad Sacota) moderadamente meteorizados y medianamente fracturados; y tobos (Formación Río Grande), masivas, moderadamente meteorizadas. En la cuenca baja se tiene gneis (Complejo Basal de la Costa) que se encuentran muy fracturados y medianamente meteorizados. Además, se tienen depósitos no consolidados conformados por coluviales, aluviales, proluviales y fluvial.
2. Las unidades y subunidades geomorfológicas están representadas por: a) montaña, en roca volcánica, intrusiva y metamórfica; además colina estructural en roca sedimentaria y colina en roca intrusiva. b) piedemonte, conformado por vertiente o piedemonte aluvio-torrencial y abanico aluvial. c) planicie, formando terraza aluvial y d) planicies de inundación, principalmente en el cauce del río Ocoña, como las terrazas fluviales.
3. Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados son: flujo de detritos, caída de rocas y avalancha de detritos. Asimismo, se identificó procesos de erosión de ladera (cárcavas)
4. Las localidades La Poderosa, San Martín, Posco Misky y Pampaylima están ubicados en el cauce de quebrada, y el centro poblado Secocha se asienta en el abanico, desembocadura de la quebrada Posco de Soca.
5. Entre el sector Pampaylima y Secocha, en el ápice de la quebrada; se apreció un depósito de flujos de detritos antiguo, que posee una altura hasta 6 m, que contiene bloques con diámetro hasta de 3 m.
6. El cauce de la quebrada Saca de Posco al entrar el área urbana de Secocha y San Martín está ocupado por viviendas; mientras que en los sectores La Poderosa, Posco Misky y Pampaylima, el cauce fue aprovechado como calle y vía principal de comunicación, como también por la ocupación de viviendas.
7. La expansión urbana de Secocha, se está orientando a ocupar laderas con pendiente mayor de 25°. En ellas se parecía procesos de caídas de rocas, bloques colgados que pueden ceder. La caída de rocas y avalancha de detritos se generan desde las partes altas de las localidades Secocha, La Poderosa, San Martín, Posco Misky y Pampaylima. También se apreció depósitos de desmonte de mina está vienes siendo ocupados por los pobladores.
8. El 5 de febrero se generó un huaico que afectó las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa. El factor detonante fue la lluvia excepcional de 46 mm que cayó en la microcuenca de la quebrada Saca de Posco. Días previos al evento el terreno fue humedecido por lluvias (5 mm el viernes 03/02/2023 y 26 mm el sábado 04/02/2023). Este es un patrón repetitivo en los flujos resientes ocurrido en el sur del Perú.
9. El volumen de huaico (flujo de detritos) que se originó el 5 de febrero fue calculado en 1,800,000 m³.
10. El flujo se inició en la parte alta de la cuenca, descendió buscando su cauce natural, arrasando todo lo que encontró a su paso. Al impacto del flujo sobre las laderas, las erosiona, y el material suelo proviene de la erosión fue incorporado al flujo.

11. Los peligros geológicos están condicionados por:

- a) En la cuenca alta y media se tienen conglomerado no litificadas (Formación Moquegua), que son de fácil erosión y aportan material suelto a la quebrada. En la cuenca media y baja se tienen afloramientos de intrusivos (Súper Unidad Sacota) moderadamente meteorizados y medianamente fracturados y tobas (Formación Río Grande), masivas y moderadamente meteorizadas. En la cuenca baja se tiene gneis (Complejo Basal de la Costa), muy fracturada y medianamente meteorizada.
- b) Pendientes de los terrenos, que varían de moderado (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°), una zona media de las laderas se observa cambios de pendientes muy fuertes (25° - 45°), en sectores encañonados pendientes muy escapados ($>45^{\circ}$), que permite que el material inestable de la ladera se desplace cuesta abajo.
- c) Abundante material suelto en las laderas de la cuenca alta y media que es fácilmente erosionable.
- d) El flujo al entrar en los sectores mineros de Posco Misky y Pampaylima erosionó la base de los depósitos de canchales (material proveniente del desmonte de mina), e incorporó el material al volumen de los flujos del 5 de febrero

12. Según las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, las localidades Secocha, Pampaylima, Posco Misky, San Martín y La Poderosa, son consideradas de **Peligro Alto a Muy Alto y Zona Crítica**. Pueden ser afectados por huaicos (flujo de detritos), que se pueden dar en temporadas de lluvia intensas y/o prolongadas. Así como caída de rocas y avalancha de detritos durante movimientos sísmicos.

13. Se identificaron terrenos para la reubicación de las localidades La Poderosa, San Martín y Posco Misky, sin embargo, no se encontraron áreas idóneas para la reubicación del centro poblado Secocha y la localidad Pampaylima.

10. RECOMENDACIONES

1. Reubicar los sectores afectados de La Poderosa, San Martín y Posco Misky; se proponen las siguientes áreas.
 - Área 1: Para la reubicación de la localidad La Poderosa, esta se ubica en el sector Rodadero, a 270 m al norte del actual poblado, posee un área de 2.58 ha. Se encuentra sobre la cima de una colina sedimentaria (Formación Moquegua)
 - Áreas 2 y 3: Para la reubicación de la localidad San Martín, la primera se ubica en la parte baja del cerro Buena Vista, a 100 m. Al norte del actual poblado, posee un área de 2.41 ha. La segunda se ubica en el sector Cerro Colorado, a una distancia de 150 m al Este del actual poblado, posee un área de 2.68 ha. Ambos se encuentran en la cima de una colina.
 - Área 4: Para la reubicación de la localidad Posco Misky, se ubica en la ladera izquierda de la quebrada Saca de Posco, a la altura de la carretera de acceso a la localidad de San Martín, a una distancia de 350 m al Sureste del actual poblado San Martín, posee un área de 5.61 ha.
2. Antes de ser ocupadas las áreas de reubicación se deben implementar lo propuesto en el ítem 8.1
3. Emplear únicamente los polígonos brindados en el presente informe, para las futuras zonas urbanas.
4. Reubicar el centro poblado Secocha y la localidad Pampaylima a un lugar en el que no se observe perturbaciones geológicas e hidrometeorológicas.
5. Establecer un sistema de alerta temprana, el cual podría advertir con tiempo el descenso de flujos de detritos (huaicos), en la quebrada Saca de Posco.
6. Colocar dissipadores de energía en el cauce de la quebrada, empleando diques transversales (enrocado) y canalización del cauce con muros escalonados, estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema, estos deben ubicarse en las secciones amplias de la quebrada.
7. Implementar ordenanzas por parte de las autoridades, para prohibir:
 - La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa.
 - La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
 - Por ningún motivo debe continuar la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas y ríos, como también en laderas inestables.
8. Implementar obras de mitigación de peligros geológicos para evitar posibles afectaciones, en las áreas propuestas para reubicación.
9. Realizar evaluaciones de riesgos (EVAR). Cuyos estudios deben ser ejecutados por un evaluador de riesgos acreditado.


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


Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
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>

Pecho, V. (1998). Mapa geológico del cuadrángulo Caravelí (32-p). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2052>

INGEMMET (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.

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, Transportati3n 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.

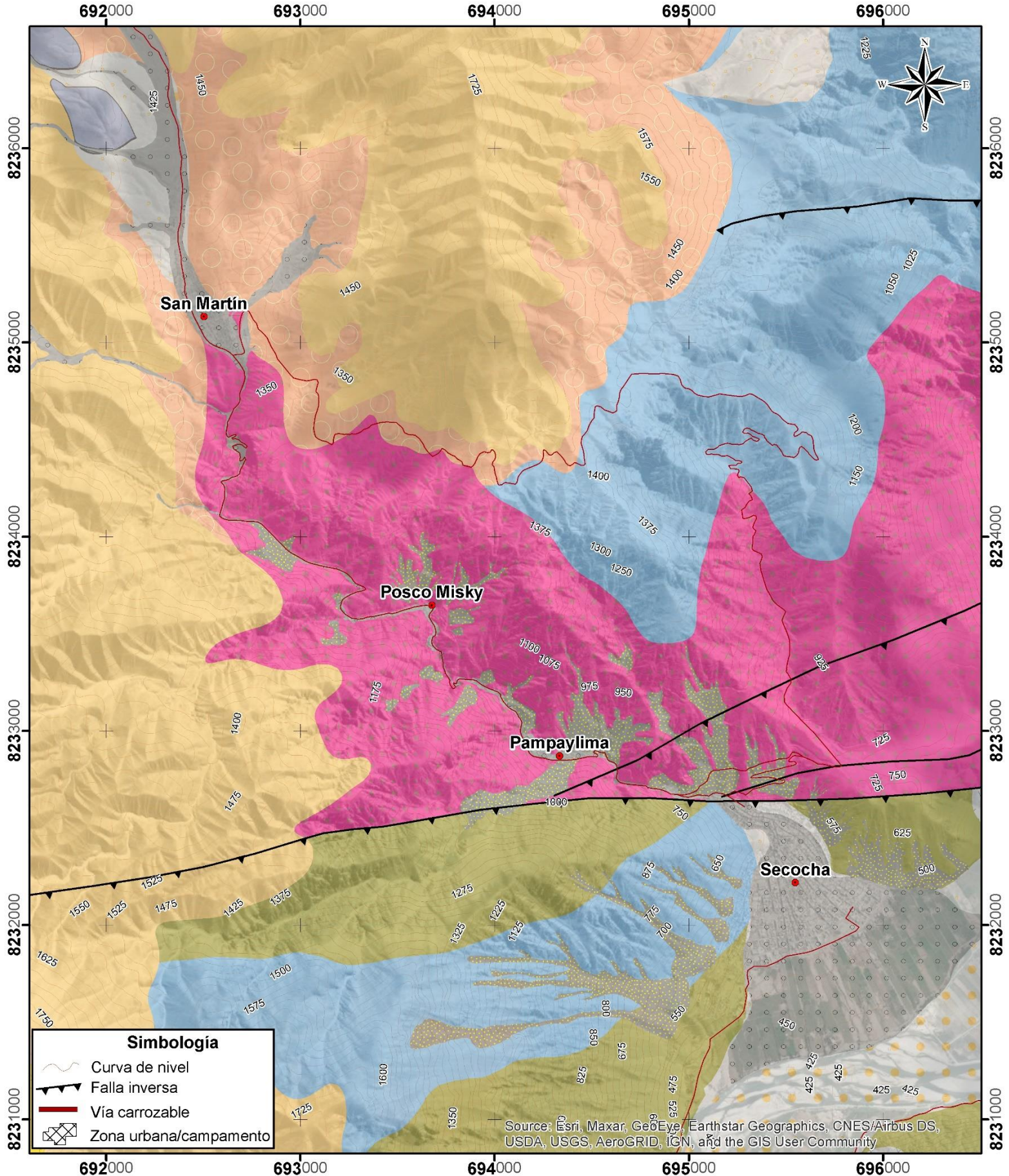
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

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

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

ANEXO 1: MAPAS

- **Mapa N°1.** Muestra el mapa geológico de las localidades San Martín, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha: Tomado y modificado de Pecho, V. (1998) y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET.
- **Mapa N°2.** Muestra el mapa geológico de la localidad La Poderosa: Tomado y modificado de Pecho, V. (1998) y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGEMMET.
- **Mapa N°3.** Muestra el mapa geomorfológico de las localidades San Martín, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°4.** Muestra el mapa geomorfológico de la localidad La Poderosa: Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.
- **Mapa N°5.** Muestra el mapa de pendientes de las localidades San Martín, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha.
- **Mapa N°6.** Muestra el mapa de pendientes de la localidad La Poderosa
- **Mapa N°7.** Muestra el mapa de cartografía de peligros geológicos de las localidades San Martín, Posco Misky, Pampaylima y del centro poblado Secocha.
- **Mapa N°8.** Muestra el mapa de cartografía de peligros geológicos de la localidad La Poderosa.
- **Mapa N°9.** Muestra el área propuesta para reubicación de la localidad La Poderosa.
- **Mapa N°10.** Muestra el área propuesta para reubicación de las localidades San Martín y Posco Misky



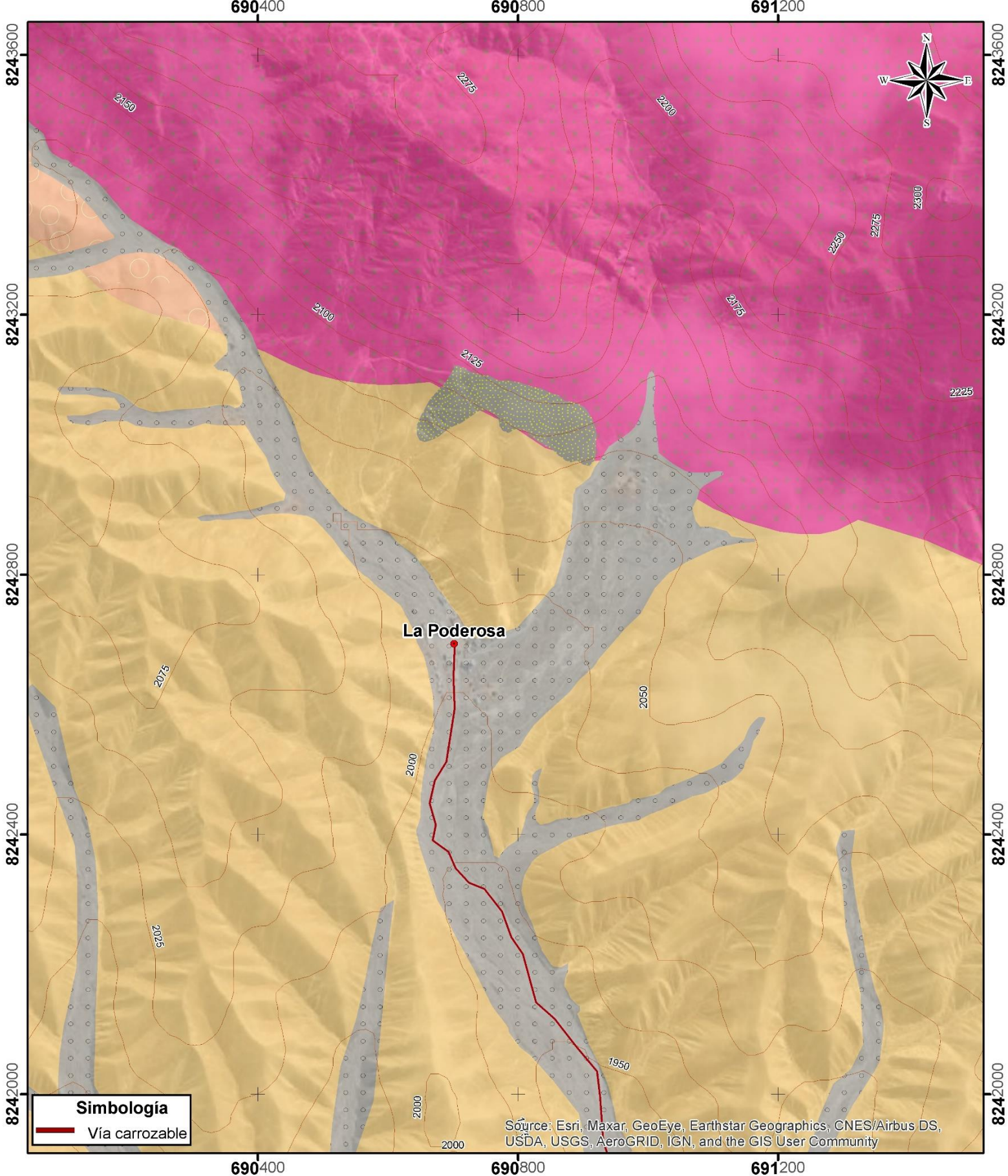
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geología de los sectores
Secocha, Pampaylima, Posco Misky y San Martín

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:25,000 0 125250 500 m	Mapa N° 1
--	--------------------------------------	-----------

Unidades litoestratigráficas

Qh-pl	Depósito proluvial	Qh-col	Depósito coluvial
Qh-fl	Depósito fluvial	Np-b/s14	Grupo Barroso Miembro superior
Qh-al	Depósito aluvial	Ki-s1-tn, gd	Súper Unidad Sacota
Po-mo/s4	Formación Moquegua Miembro Superior	Jms-rg3	Formación Río Grande
Pe-mo/i4	Formación Moquegua Miembro Inferior	PP-abc-gn,mi	Complejo Basal de la Costa



Simbología
 Vía carrozable

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

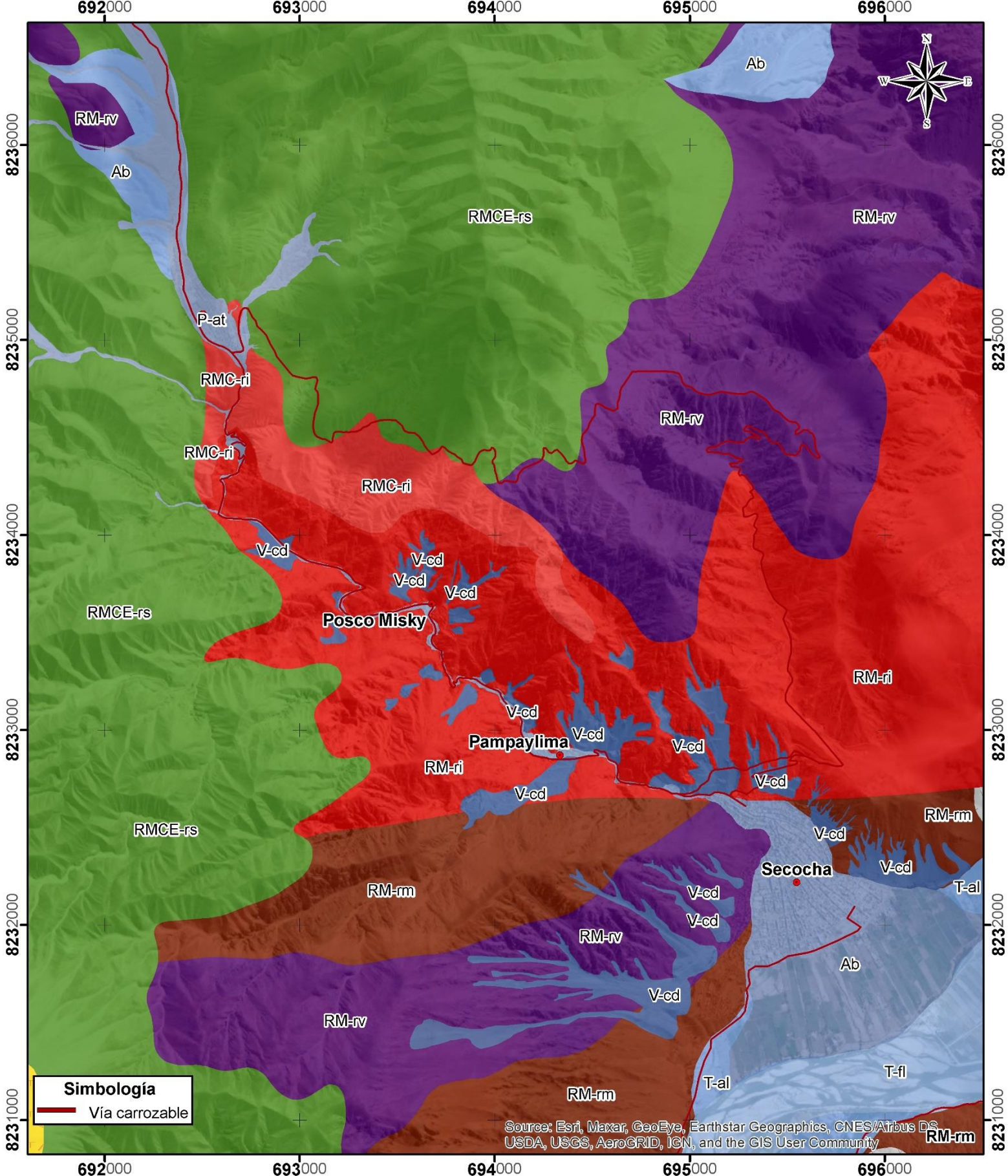
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geología del sector La Poderosa

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:7,500 0 37.575 150 m	Mapa N° 2
--	-------------------------------------	-----------

Unidades litoestratigráficas

- Qh-pl Depósito proluvial
- Qh-col Depósito coluvial
- Po-mo/s4 Formación Moquegua Miembro Superior
- Pe-mo/i4 Formación Moquegua Miembro Inferior
- Ki-s1-tn, gd Súper Unidad Sacota



Simbología
 — Vía carrozable

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

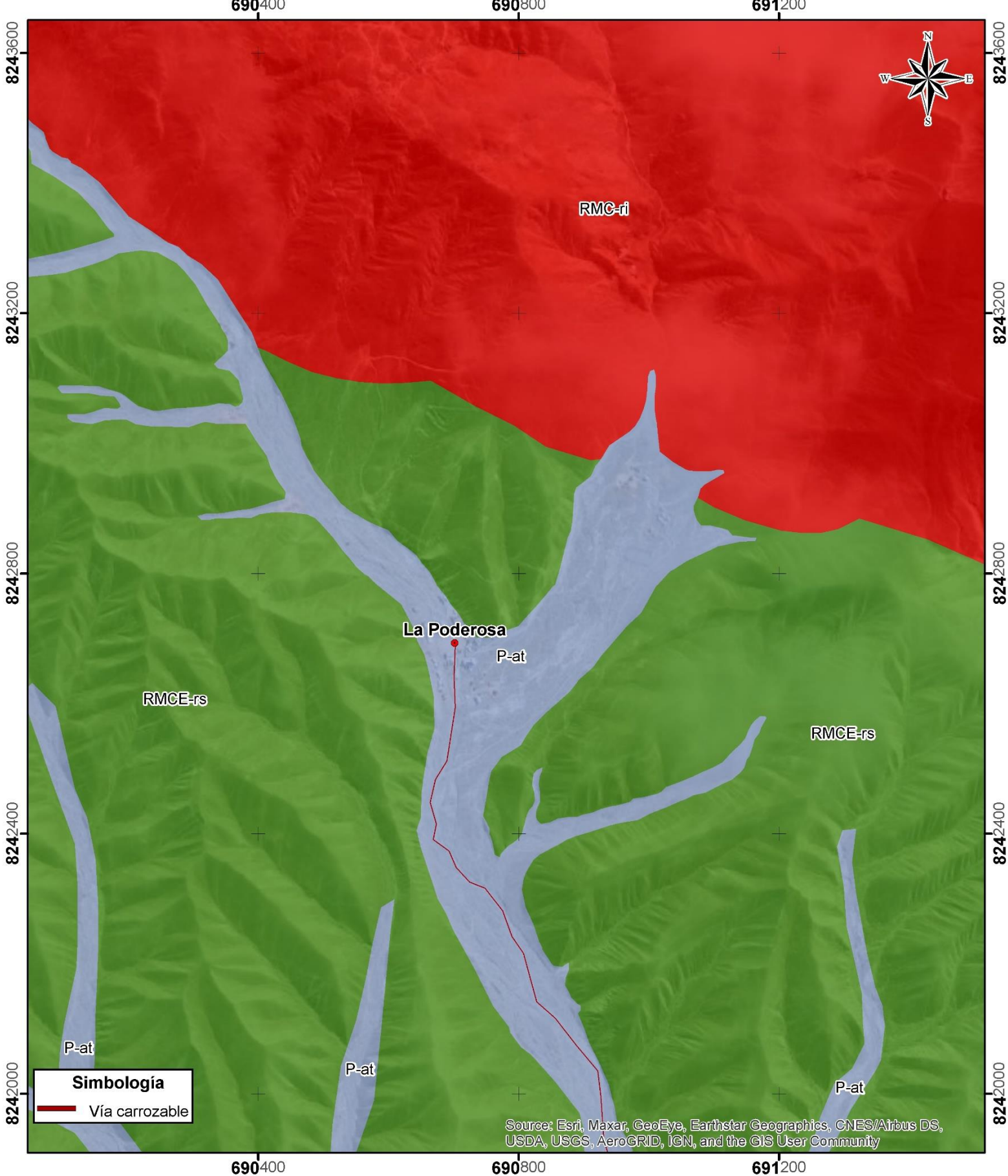
Geomorfología de los sectores Secocha, Pampaylima, Posco Misky y San Martín

Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 18S

Escala 1:25,000
 0 125250 500
 m

Mapa N° 3

Unidades geomorfológicas	
P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
RM-rv	Montaña en roca volcánica
Ab	Abanico de piedemonte
RMCE-rs	Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria
RM-rí	Montañas y colinas en roca intrusiva
RM-rí	Montaña en roca intrusiva
RM-rm	Montaña en roca metamórfica
T-al	Terraza aluvial
T-fl	Terraza fluvial



Simbología
 Vía carrozable

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community






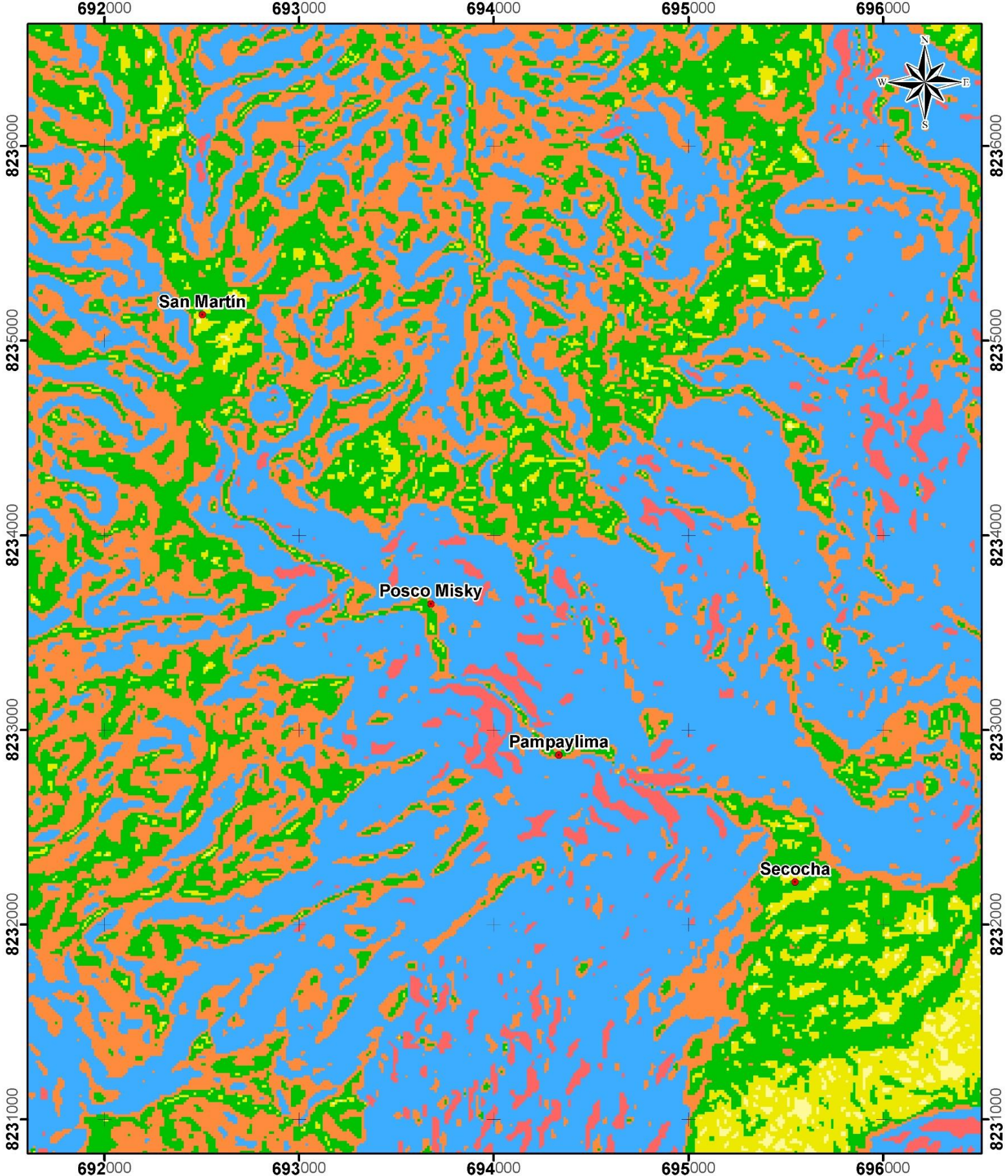
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Geomorfología del sector La Poderosa

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:7,500 0 37.575 150  m	Mapa N° 4
--	---	-----------

Unidades geomorfológicas

 P-at	Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial
 RMCE-rs	Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria
 RMC-ri	Montañas y colinas en roca intrusiva



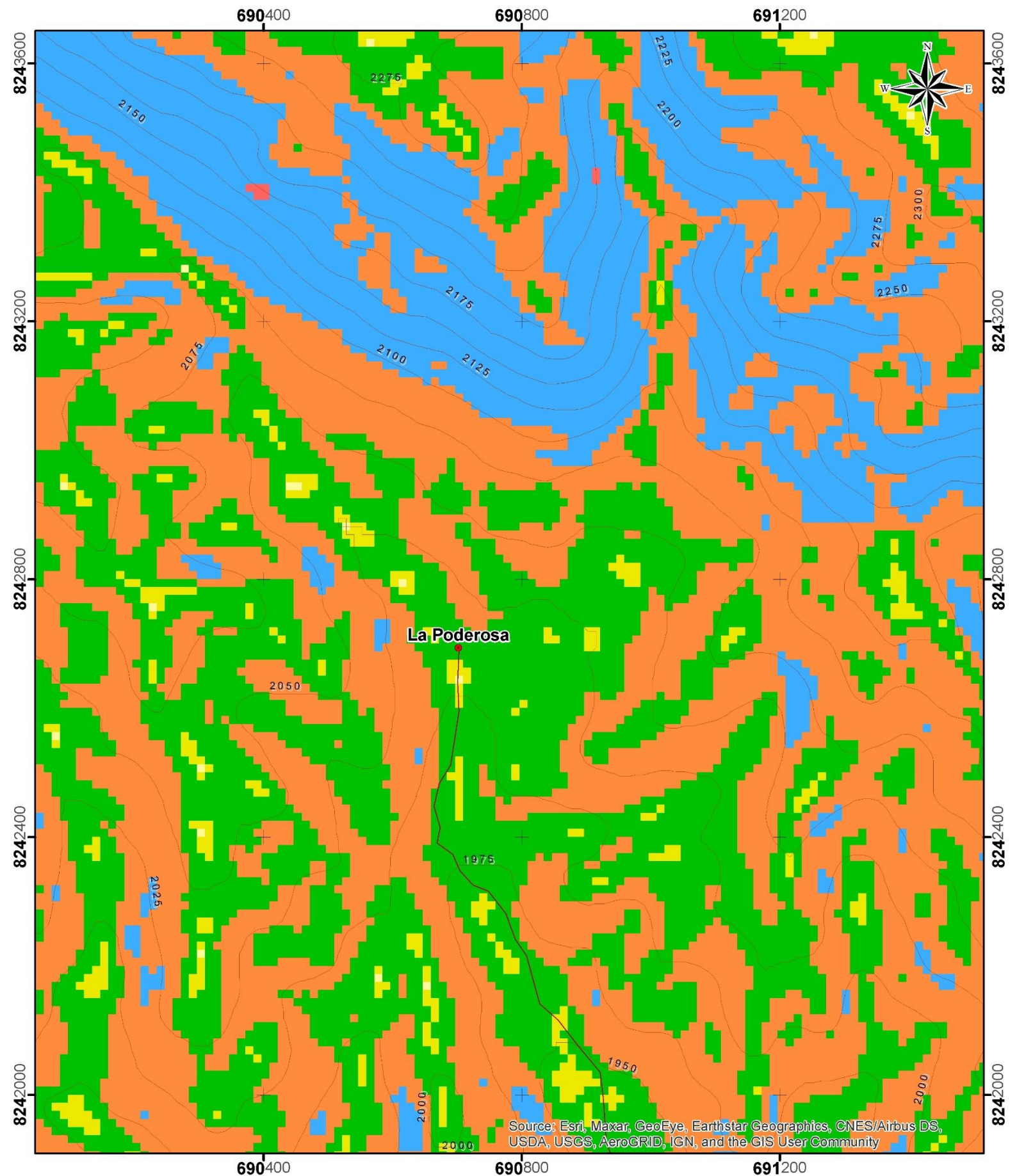
SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**Pendientes del terreno en los sectores
 Secocha, Pampaylima, Posco Misky y San Martín**

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:25,000 0 130 260 520 m	Mapa N° 5
--	------------------------------------	-----------

Pendientes (Grados)

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

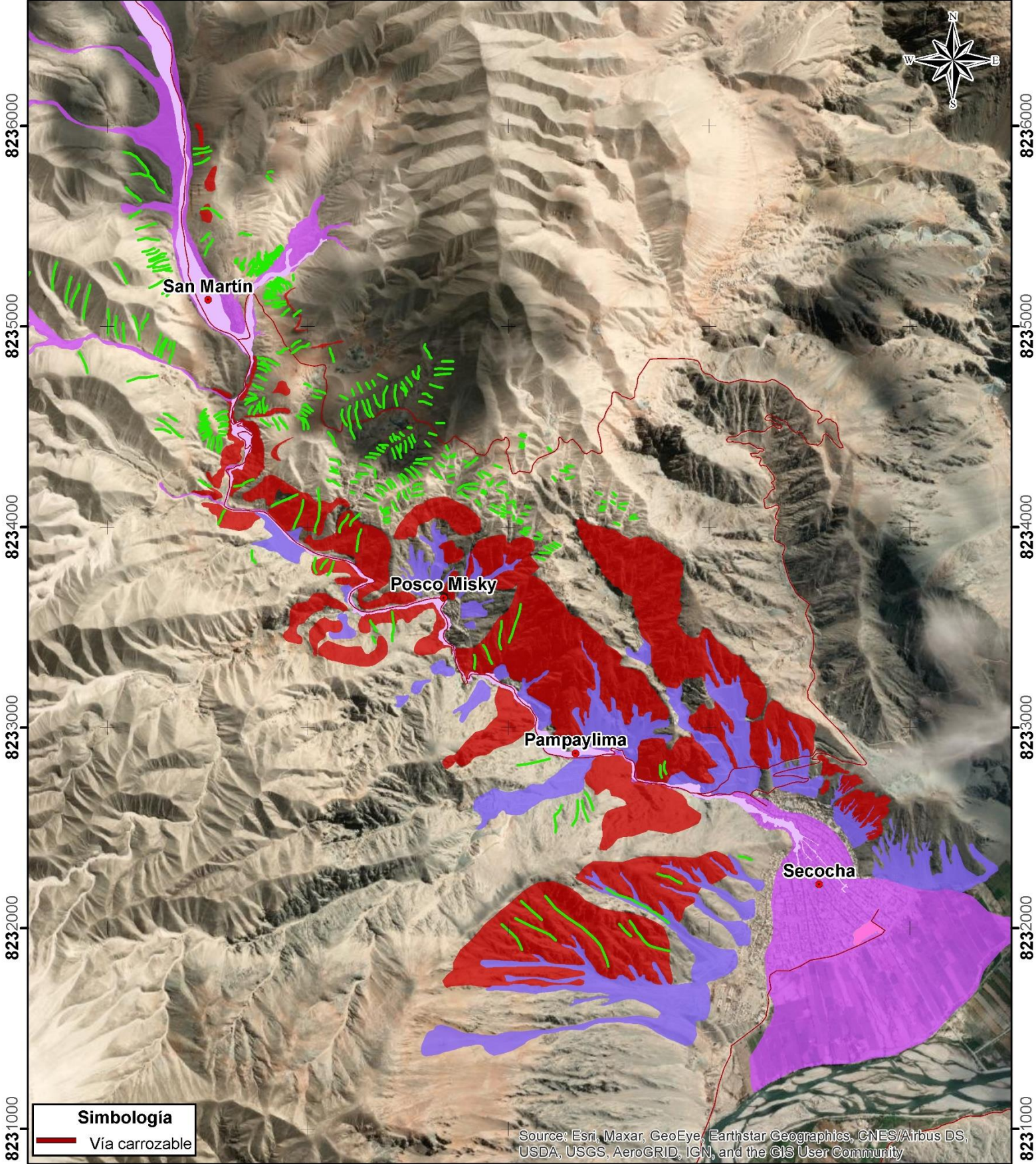


Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Pendientes del terreno del sector La Poderosa		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:7,500 0 37.575 150 m	Mapa N° 6

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

692000 693000 694000 695000 696000



Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

Simbología

— Vía carrozable

692000 693000 694000 695000 696000









Cartografía de peligros geológicos en los sectores Secocha, Pampa Lima, Posco Misky y San Martín

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S

Escala 1:25,000
0 125250 500
m

Mapa N° 7

Peligros geológicos

-  Caída de rocas
-  Flujo de detritos (huaico)
-  Avalancha de detritos
-  Erosión de laderas (cárcavas)
-  Huaico del 5 de febrero
-  Flujo de lodo del 5 de febrero








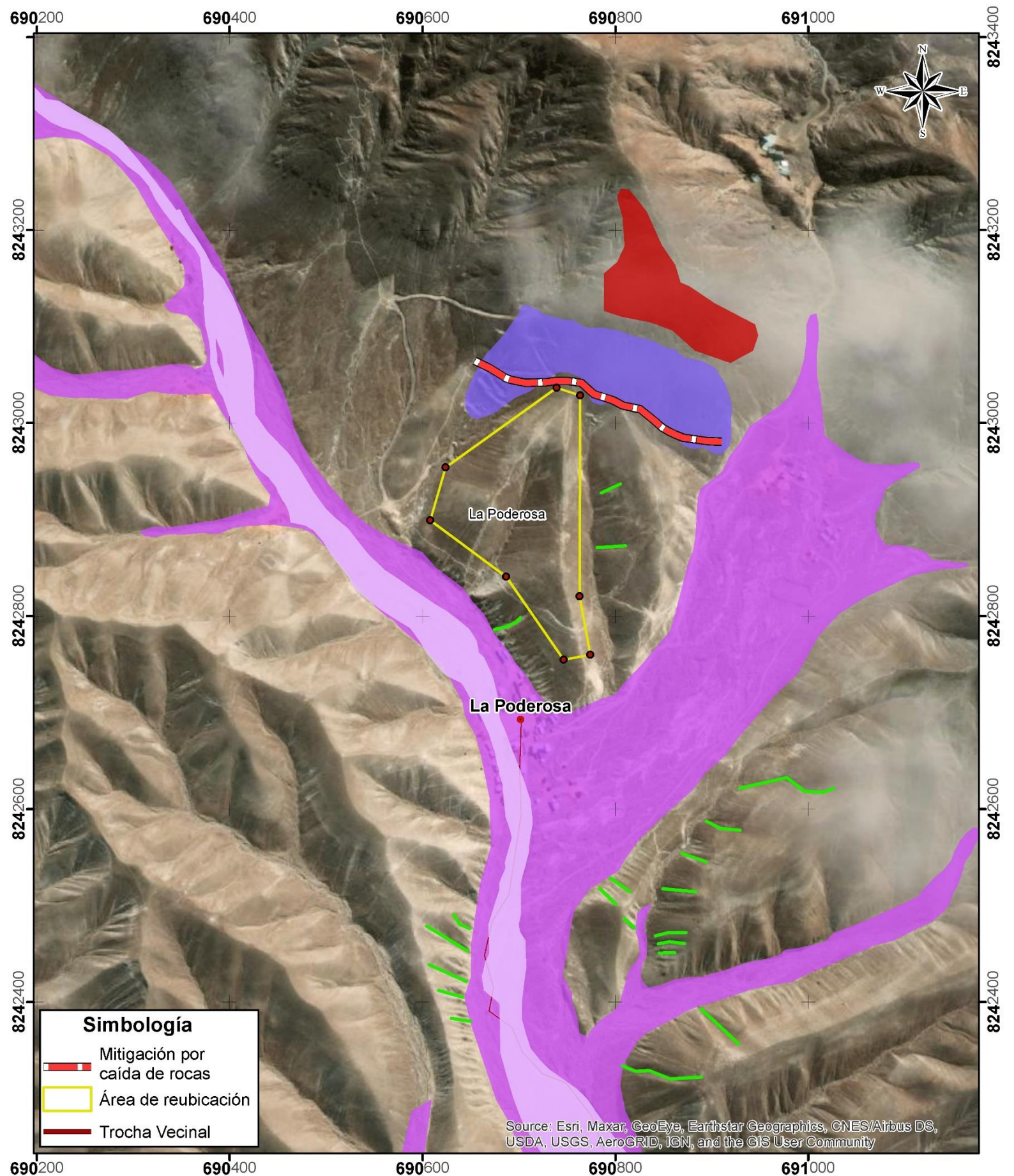
Simbología
 Vía carrozable

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

 <p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>Cartografía de peligros geológicos en el sector La Poderosa</p>		
Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:7,500 0 37.575 150  m	Mapa N° 8

Peligros geológicos

	Caída de rocas		Flujo de detritos (huaico)
	Avalancha de detritos		Erosión de laderas (cárcavas)
	Huaico del 5 de febrero		



Simbología

-  Mitigación por caída de rocas
-  Área de reubicación
-  Trocha Vecinal

Source: Esri, Maxar, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community






SECTOR ENERGÍA Y MINAS

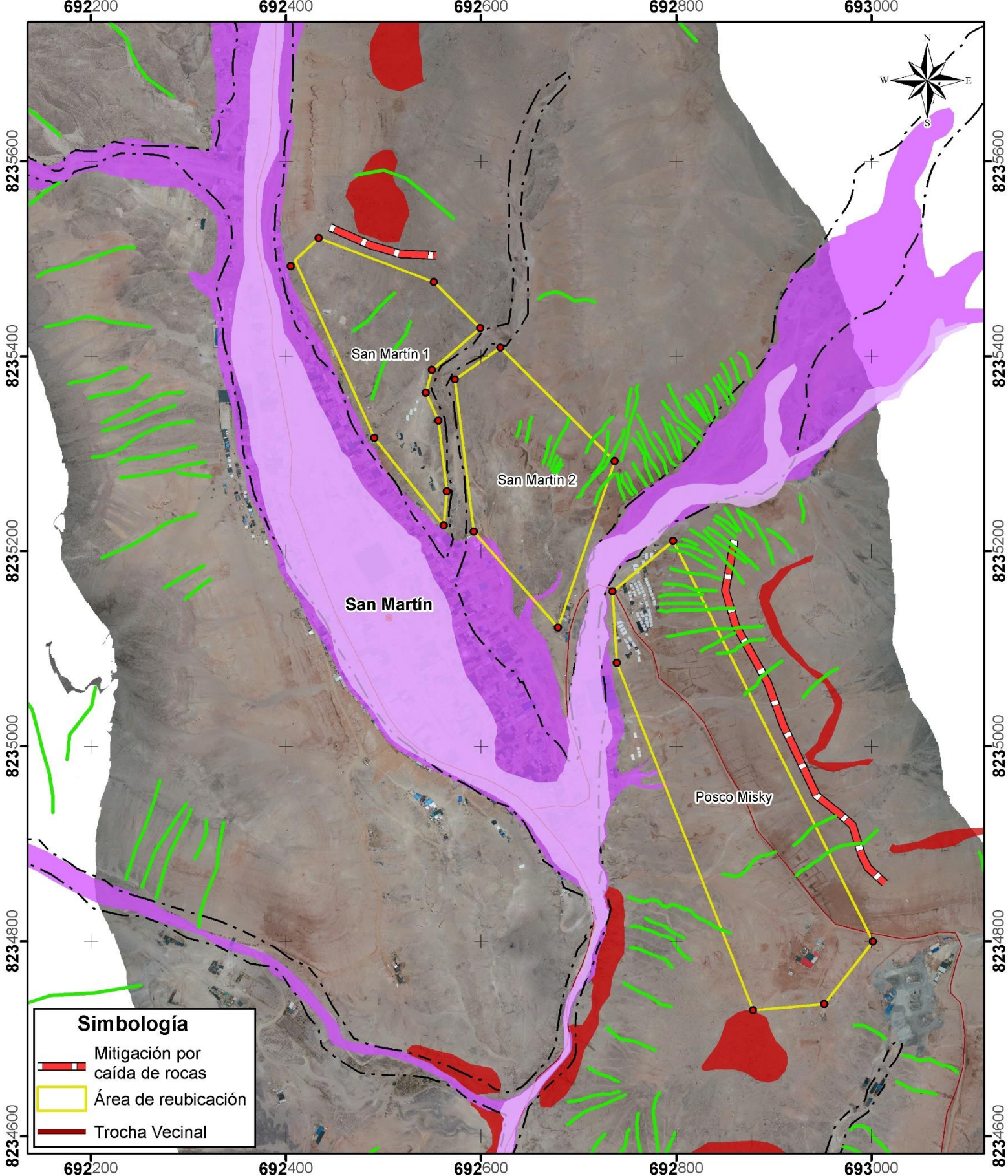
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

Áreas de reubicación
La Poderosa

Proyección UTM Datum WGS 84 Zona 18S	Escala 1:5,000 0 25 50 100  m	Mapa N° 9
--	--	--------------

Peligros geológicos

 Caída de rocas	 Flujo de detritos (huaico)
 Avalancha de detritos	 Erosión de laderas (cárcavas)
 Huaico del 5 de febrero	



Simbología

- Mitigación por caída de rocas
- Área de reubicación
- Trocha Vecinal

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**Áreas de reubicación
 San Martín y Posco Misky**

Proyección UTM	Escala 1:5,000	Mapa N° 10
Datum WGS 84	0 25 50 100 m	
Zona 18S		

Peligros geológicos

- Caída de rocas
- Simulación de flujo de detritos
- Huaico del 5 de febrero
- Flujo de detritos
- Erosión de laderas (cárcavas)

ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de caídas de rocas, avalancha de detritos, flujos (huaicos), procesos de erosiones de laderas, entre otros, así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

La estabilidad de una pendiente mejora cuando se llevan a cabo ciertas acciones. Para tener éxito, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud. En segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse suficientemente para reducir la influencia de ese proceso.

La mitigación prescrita debe diseñarse de manera que se adapte a las condiciones específicas de la pendiente que se esté estudiando. Por ejemplo, instalar tuberías de drenaje en una pendiente que tiene muy poca agua subterránea no tiene sentido. Los esfuerzos por estabilizar una pendiente se realizan durante la construcción o cuando surgen problemas de estabilidad de forma inesperada después de la construcción.

La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a un profesional experto en derrumbes, por ejemplo, un ingeniero geotécnico o civil antes de emprender cualquier trabajo de estabilización. En las secciones siguientes se ofrece una introducción general a las técnicas que se pueden utilizar para aumentar la estabilidad del talud (Highland & Bobrowsky, 2008).

Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes

La caída de rocas y derrumbes son comunes en zona con pendientes escarpadas de rocas y acantilados. Estos peligros son la causa de cuantiosas pérdidas humanas y económicas, estas últimas principalmente al obstaculizar el transporte y el comercio debido al bloqueo de las carreteras. A veces, se desvían los caminos y carreteras alrededor de las zonas de caída de rocas, pero esto no siempre es práctico. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado peligro de caída de rocas.

La aplicación de medidas correctivas en zonas con caídas se puede realizar sobre taludes de pendientes fuertes y cuya estabilización es necesaria. Para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura, los métodos más frecuentes se muestran en la (figura 67).

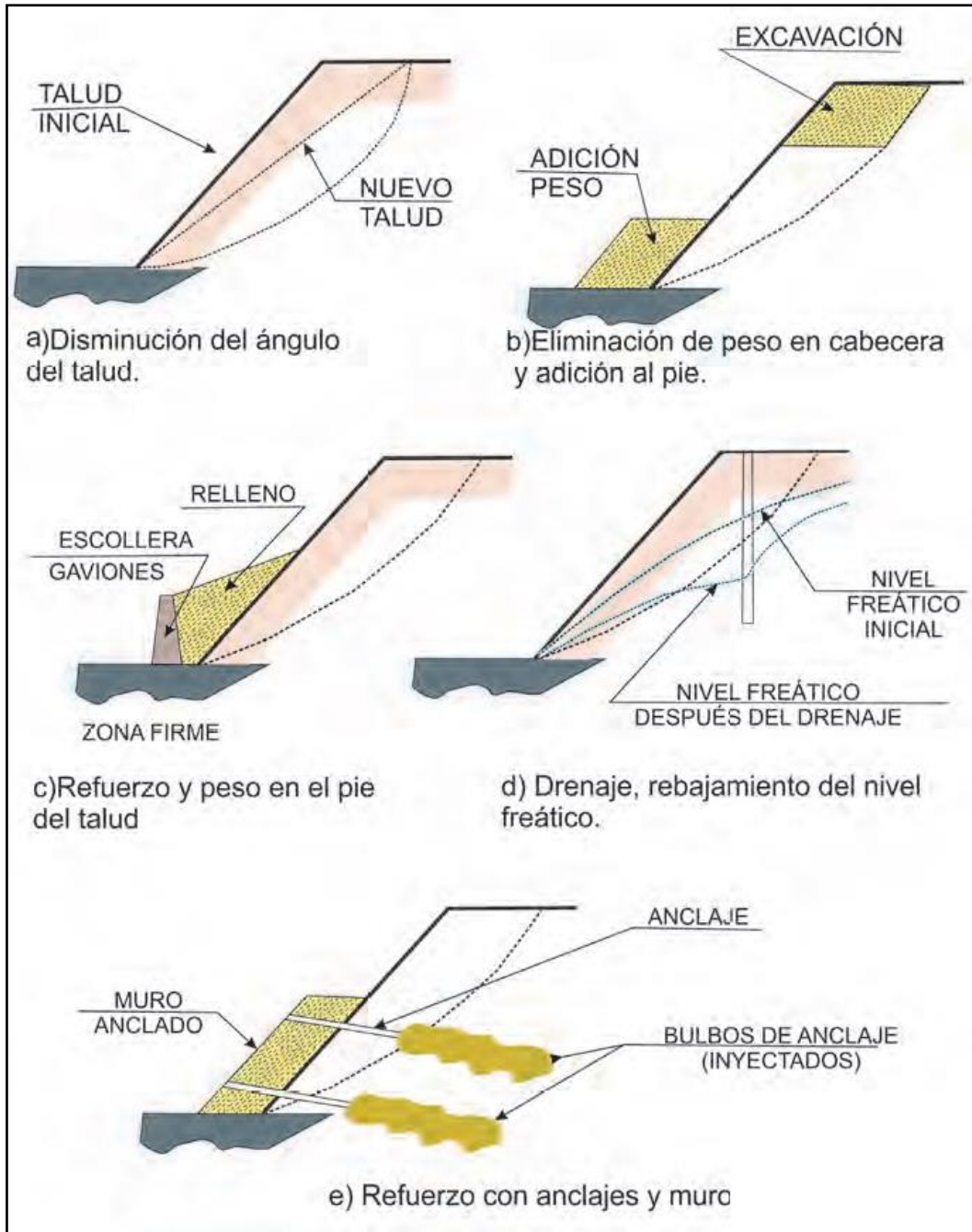


Figura 67. Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes, (Vilches, 2021)

Corrección por modificación de la geometría del talud: Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte del talud, escalonamiento de taludes en bancos (figura 68), etc. Mediante este tipo de corrección, se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, y se obtiene una nueva configuración más estable.

Corrección por drenaje: Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos: 1) drenaje superficial mediante zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud con el fin de recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud para evitar su infiltración; y 2) drenaje profundo que tiene como finalidad deprimir el nivel freático del afloramiento, ya sea por medio de drenes horizontales, galería de drenaje, zanjas, pozos o drenes verticales, entre otros, como se

muestran en la (figura 69). En ambos casos, es necesaria la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

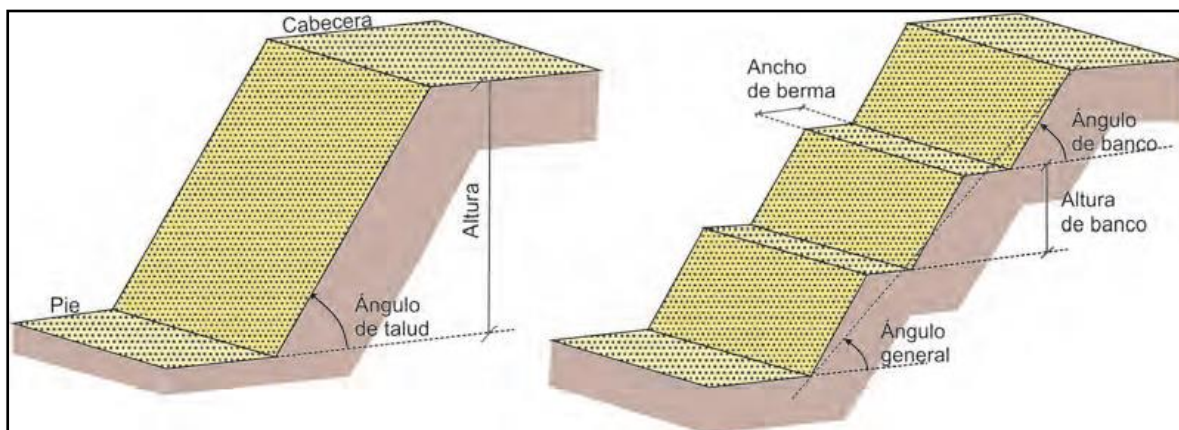


Figura 68. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

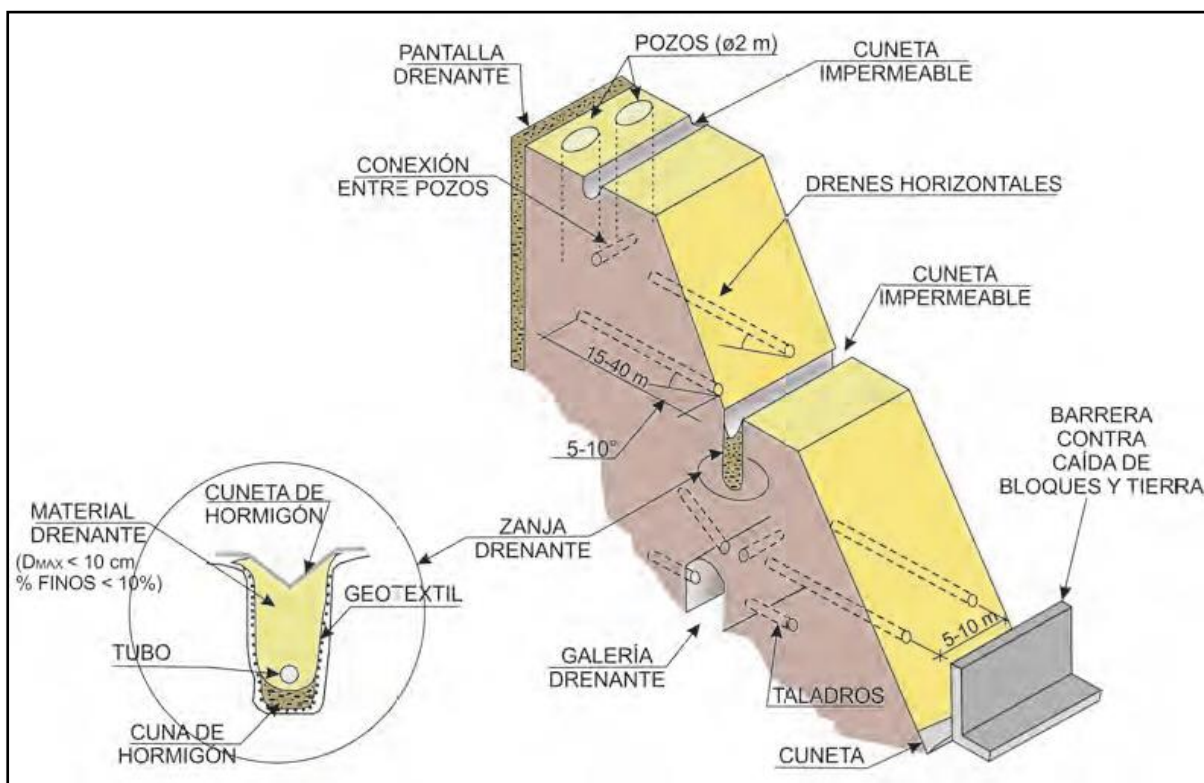


Figura 69. Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilches, 2021)

Corrección por elementos resistentes: Tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuentes como anclajes formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo, que trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura (figura 70). Otro sistema es el uso de muros, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 71). Estos muros pueden ser de: 1) gravedad, que se construyen de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños (figura 72); 2) aligerados, ejecutados con hormigón armado en forma de L. Aquí la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno

principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón; y muros contrafuertes (figura 73).

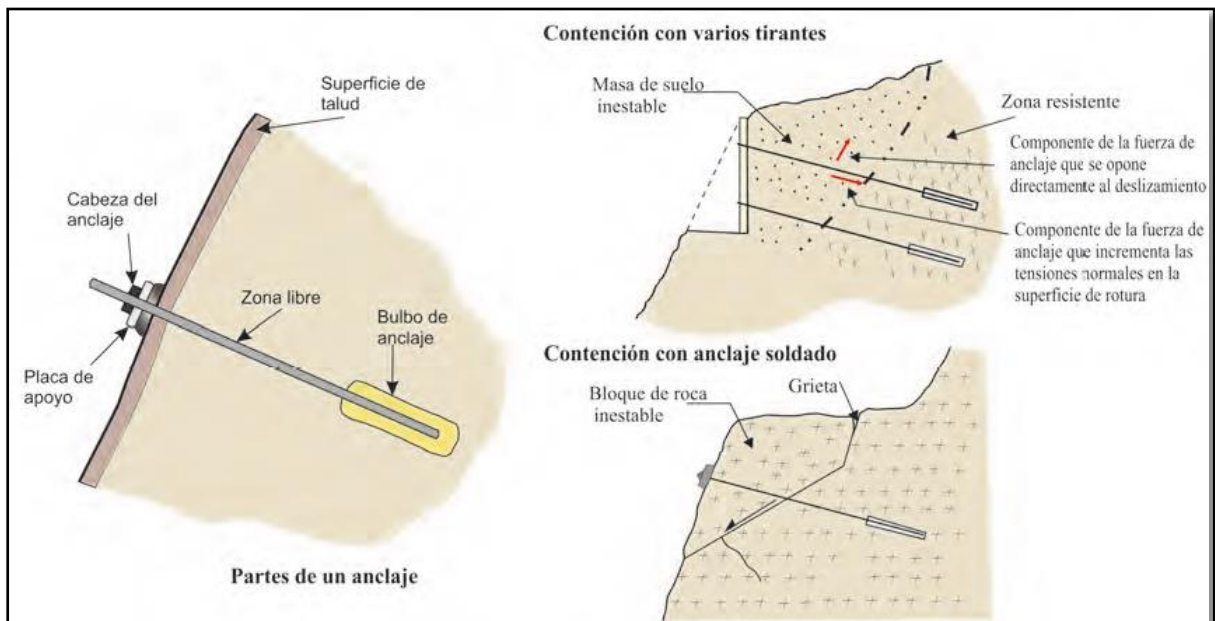


Figura 70. Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilches, 2021)

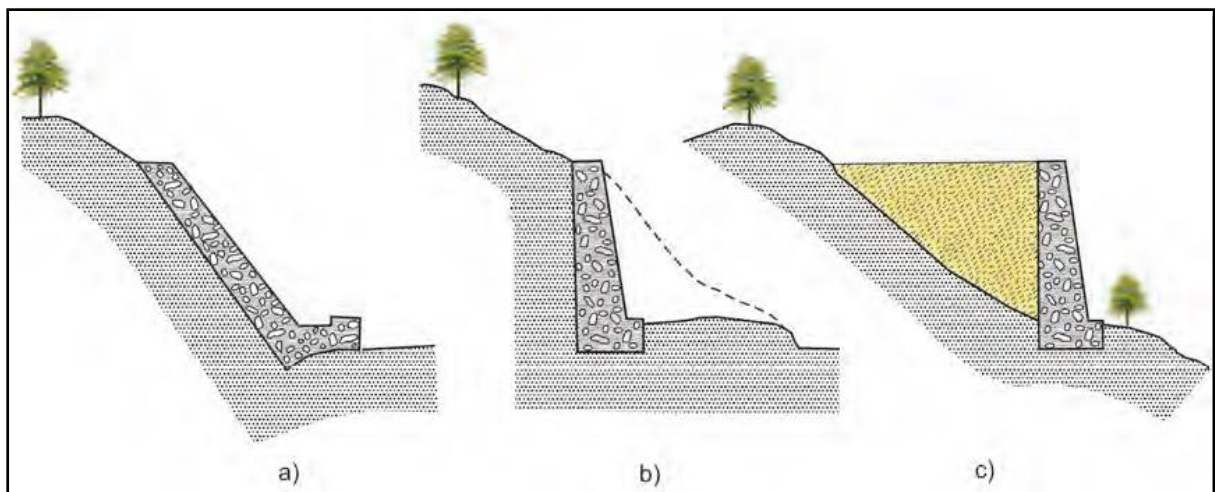


Figura 71. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

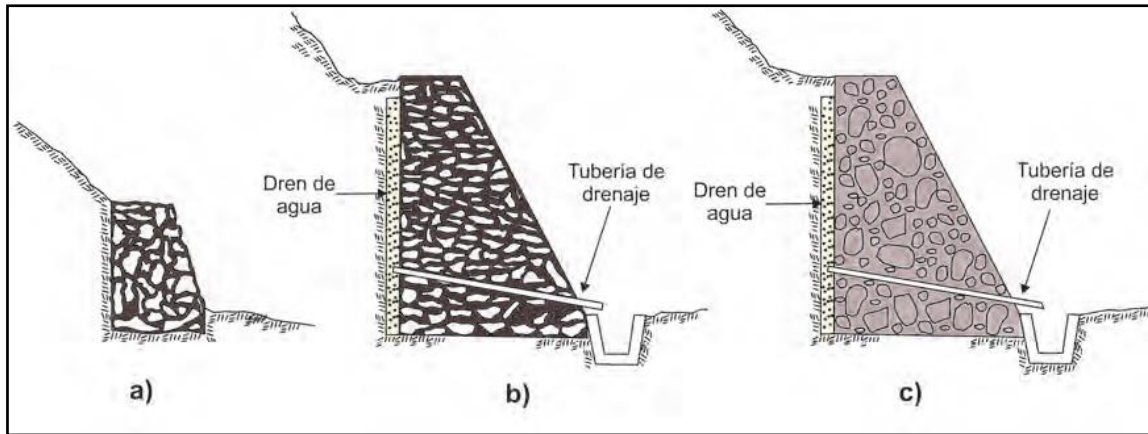


Figura 72. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

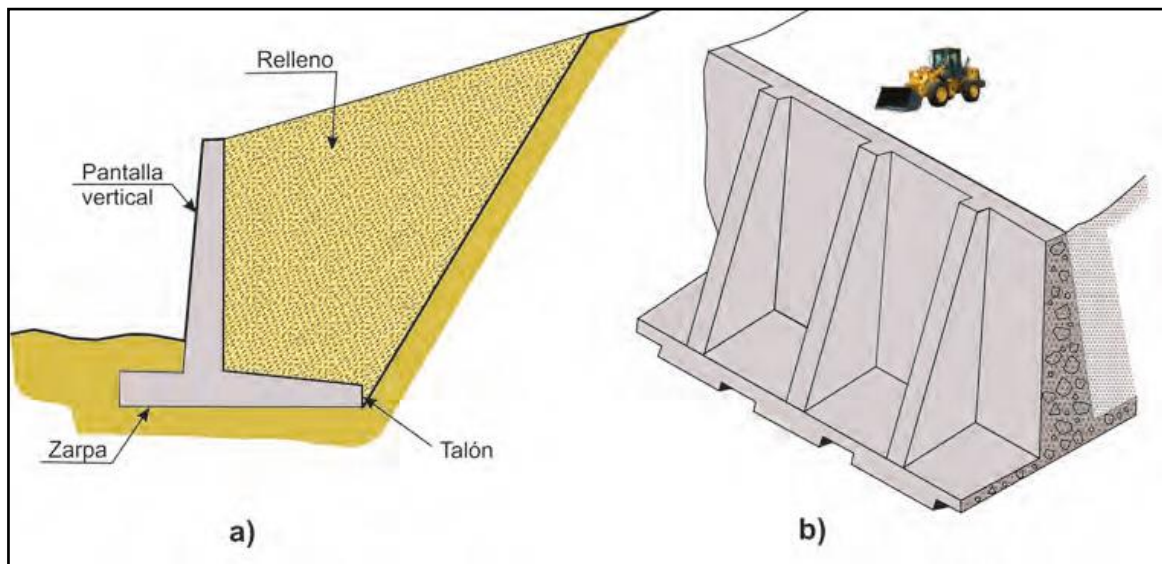


Figura 73. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

Otro sistema lo conforman los Gaviones con forma de prisma rectangular, que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable como caliza, andesita, granitos, etc. retenido por una malla de alambre metálico galvanizado, cuya altura puede ser de 5 a 10 m (figura 74).

También tenemos las pantallas de pilotes, de hormigón armado, que constituyen alineaciones de pilotes cuyo diámetro varía entre 40 a 120 cm, y donde el espacio entre dos adyacentes es lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo (lamentablemente, son muy costosas). También se usan los muros de pantalla, enterrados de hormigón armado. Su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (figura 75).

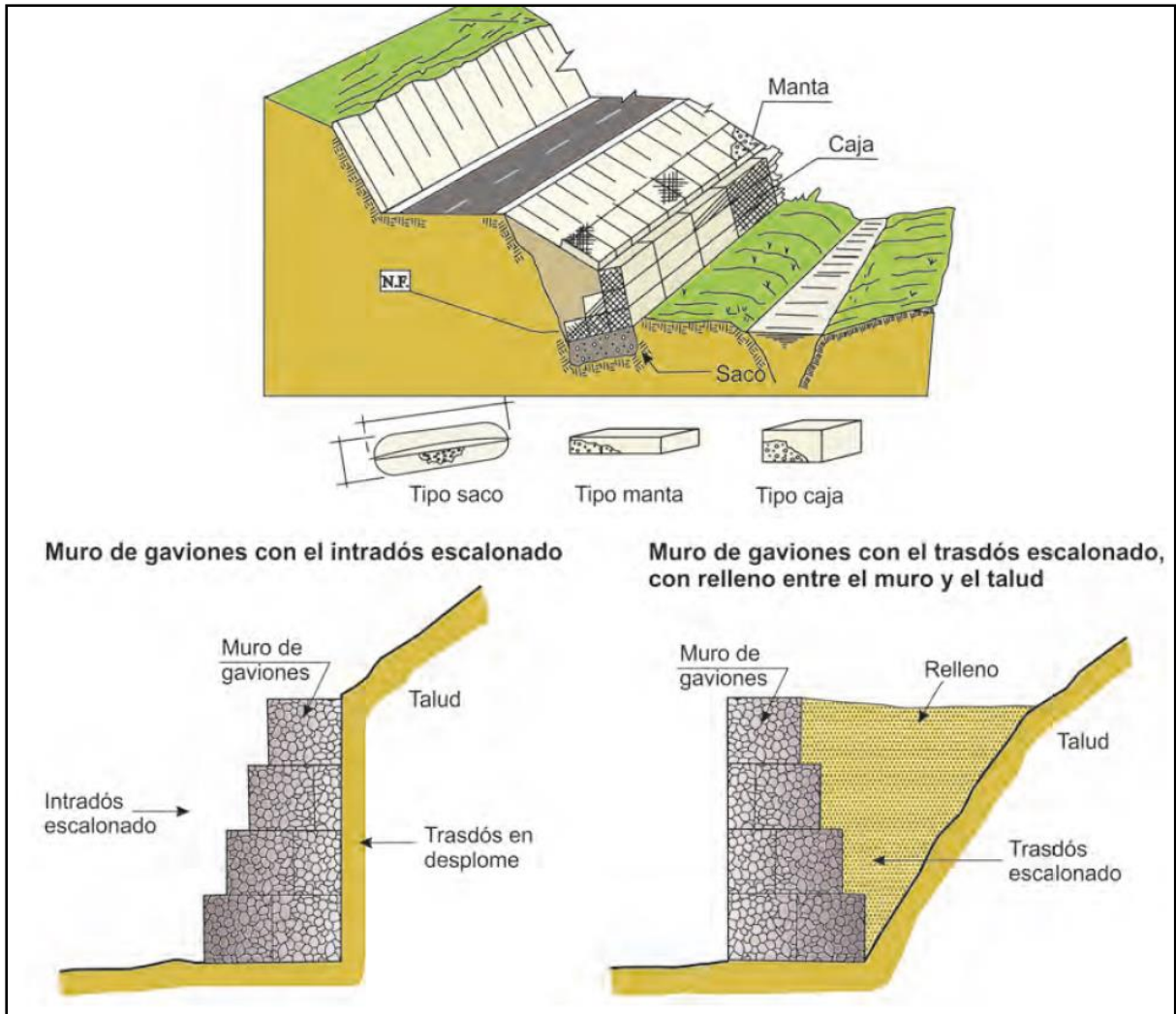


Figura 74. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilches, 2021)

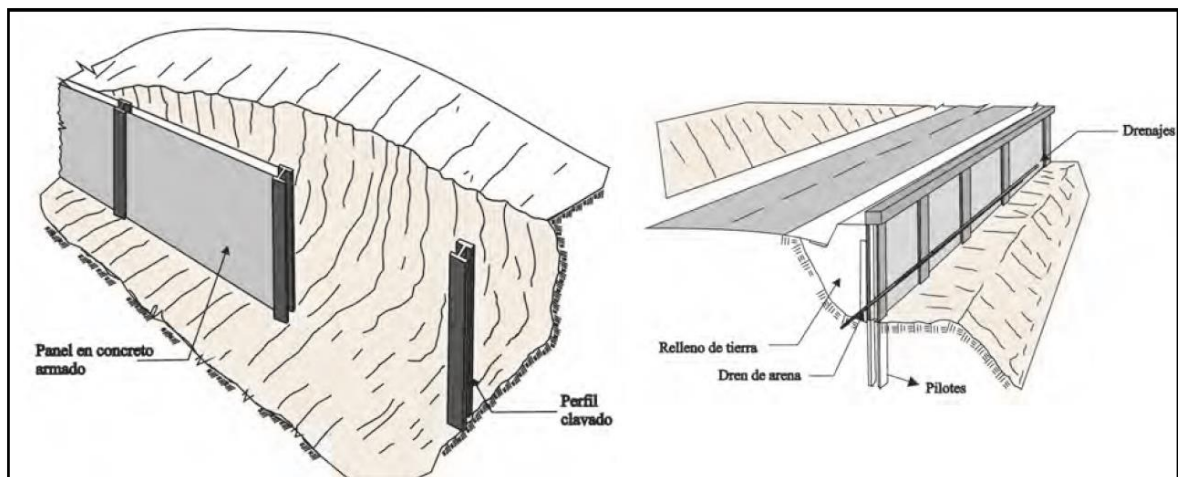


Figura 75. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilches, 2021)

Correcciones superficiales: Estas medidas se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno con la finalidad de evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud, eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan y aumentar la

seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales. En esta categoría, se tiene, por ejemplo, el uso de: 1) mallas metálicas que cubren la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud. En la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca por caer se encuentra entre 0,6 a 1 m (figura 76).



Figura 76. Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada, (Vilches, 2021)

Corrección por elementos flujos

Acá se desarrollan las medidas para quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación.

Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, como en el caso del Fenómeno El Niño; es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.

Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 77)

Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico), ya sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y barras flexibles, fosas de decantación; etc. (debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan

como resultado de la retención del material sólido) (figura 78).



Figura 77. Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilches, 2021)



Figura 78. Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huacos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles, (Vilches, 2021)

Sistemas de alarmas

Consisten en la instalación de diversos sistemas o instrumentos, en superficie o en profundidad, con la finalidad de detectar movimiento o medir determinados parámetros relacionados con los movimientos. Los más frecuentes son:

Instalación de inclinómetros y piezómetros en deslizamientos o en laderas cuya inestabilidad supone riesgos importantes (por ejemplo, en las laderas de embalses o de zonas urbanizadas). Se requiere establecer los valores tolerables (de desplazamiento) a partir de los cuales se considera que los movimientos son peligrosos o que pueden acelerarse. Es muy importante tomar los datos con precisión, de preferencia de forma automática, y la interpretación de las medidas obtenidas, así como las decisiones, que deben basarse en juicios expertos. La frecuencia de medida está en función de las características del proceso y de la fase o estado de inestabilidad. Debe prestarse atención también al correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas.

Sobre la base de las medidas, pueden establecerse correlaciones con las precipitaciones, lo que ayuda a definir los niveles o umbrales de alarma.

- Instalación de redes de cables en laderas rocosas con peligro de desprendimientos, mediante señales eléctricas o de otro tipo (al golpear los bloques desprendidos), que generalmente se instalan en laderas rocosas con vías de ferrocarril y carreteras a su pie. El sistema puede estar conectado con señales que avisen del peligro inminente.
- Instalación de sistema de vigilancia y alerta en las quebradas por flujo de detritos o huaicos, con el propósito de recopilar información sobre flujos en el campo tanto como sea posible para la estación de monitoreo de flujos de detritos eficaz, se tiene como ejemplo el instalado en Taiwan, mediante un seguimiento de sensores como pluviómetro, cámara, medidor de nivel de agua por ultrasonidos, sensor de humedad de suelo, cable sensor y geófonos. Los datos son captados por los sensores de observación, actualizados y transferidos a través de sistemas de transmisión por satélite en tiempo real hacia una página web y móviles desde una cabina instrumental que es la fuente de alimentación de procesamiento de datos (figuras 79 y 80).

Esta información se utiliza no solo para ayudarnos a comprender el mecanismo físico de los flujos sino también para mejorar la exactitud del sistema actual de alerta sobre la base de umbrales de precipitación.



Figura 79. Sensores utilizados para el monitoreo de flujos de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).

Estación de monitoreo de flujo de detritos (huaicos) de Dackeng

En noviembre del 2000, el tifón Xangsang trajo 897 mm de precipitación (Oct. 27-Nov. 2, 2000) que desencadenó un flujo de detritos (huayco) y causó víctimas graves y pérdida de propiedades de las personas que vivan aguas abajo.

Cable sensor: Cuando el Cables sensor es roto por el flujo de detrito (huayco) una señal de advertencia es enviada a la central de operaciones de emergencia.

Cámara CCD: La cámara CCD sirve para monitorear la condición del flujo en el canal.

Centro de adquisición de datos: Todos los datos de observación de campo se integran y registran en el centro de adquisición de datos a partir del cual el sistema de vigilancia puede ser controlado y operado de forma remota a través de internet.

Pluviómetro: Es usado para medir la precipitación de advertencia por flujo de detritos.

Sensor meteorológico: Los instrumentos meteorológicos incluidos en esta estación son: sensor de humedad y temperatura, sensor de dirección y velocidad del viento, sensor de irradiación solar y sensor de presión atmosférica.

Sensor de contenido de agua en el suelo: El sensor es utilizado para analizar la relación entre la lluvia y la infiltración.

Satélite: El campo de datos de flujos de detritos recogidos por los diferentes sensores de observación puede ser transmitido instantáneamente a través del satélite al centro de operaciones de emergencia.

Geófono: La vibración del suelo causada por el flujo de detritos es medida y registrada en el geófono.

牡丹溪 Quebrada Mudan
上游 Upstream Aguas arriba
下游 Downstream Aguas abajo
梳子壩 Shuzi Dam

您現在所在位置
 Your Current Position
 行政院農業委員會水土保持局
 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture
 土石流防災應變系統 Debris-Flow Disaster Response System
<http://remis.swcb.gov.tw>

Figura 80. Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).