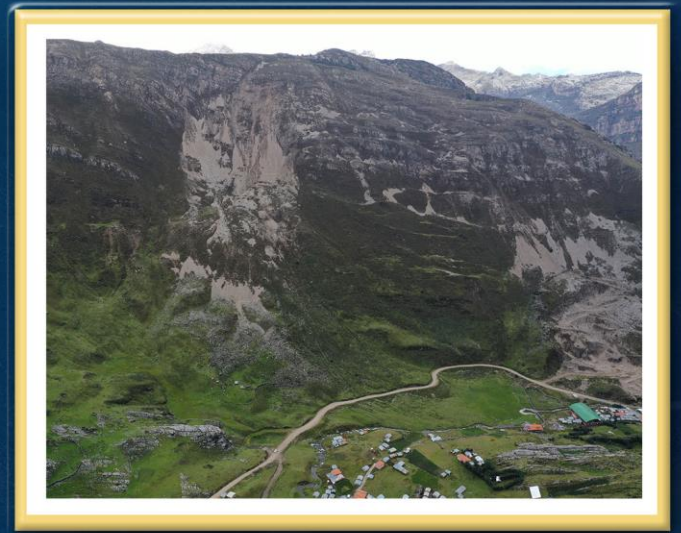
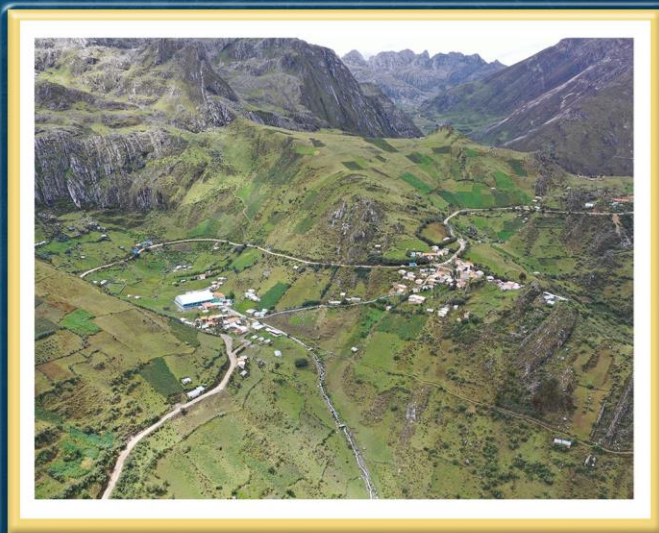


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7394

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO SAN ANTONIO DE JUPROG

Departamento Áncash
Provincia Huari
Distrito San Marcos



JUNIO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS EN EL CASERIO SAN ANTONIO DE JUPROG

Distrito San Marcos, provincia Huari, departamento Áncash

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Mauricio Núñez Peredo

Richard Huayta Pacco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos en el caserío San Antonio de Juprog. Distrito San Marcos, provincia Huari, departamento Áncash*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7394, 41 p.

INDICE

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | 4 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.1. Objetivos del estudio | 5 |
| 1.2. Alcances | 5 |
| 1.3. Antecedentes y trabajos anteriores | 6 |
| 1.4. Aspectos generales..... | 7 |
| 1.4.2. Accesibilidad | 7 |
| 1.4.3. Población | 7 |
| 1.4.1. Clima..... | 9 |
| 2. DEFINICIONES..... | 10 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 12 |
| 3.1. Pendientes del terreno | 12 |
| 3.2. Modelo digital de elevaciones (MDE) | 13 |
| 3.3. Unidades geomorfológicas..... | 14 |
| 3.1.1. Unidad de montaña..... | 14 |
| 3.1.2. Unidad de piedemonte | 14 |
| 3.1.3. Unidad glaciár | 15 |
| 3.1.4. Geoforma antropogénica..... | 15 |
| 3.4. Índice Topográfico de Humedad (TWI)..... | 16 |
| 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 18 |
| 4.1. Unidades Litoestratigráficas | 18 |
| 4.2. Depósitos superficiales | 21 |
| 4.2.1. Deposito coluvio – deluvial..... | 21 |
| 4.2.2. Deposito coluvial..... | 21 |
| 4.3. Contexto estructural | 22 |
| 5. PELIGROS GEOLÓGICOS | 23 |
| 5.1. Movimientos en masa antiguo..... | 23 |
| 5.2. Factores condicionantes | 32 |
| 5.3. Factores desencadenantes | 33 |
| 5.4. Factores Antrópicos | 33 |
| 6. CONCLUSIONES | 34 |
| 7. RECOMENDACIONES | 35 |
| BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA..... | 36 |
| ANEXO 1 | 37 |

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos y otros peligros geológicos, realizado en los sectores de Jatun Piruro, Piruro, Chipta, Chaquicocha, Pillayacu, Pincullo y Shaguanga, del caserío San Antonio de Juprog, perteneciente a la jurisdicción distrital de San Marcos, provincia Huari, departamento Áncash. 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, para los tres niveles de gobierno.

En el contexto litológico, se observa que los sectores de Jatun Piruro y Piruro, se encuentran asentadas sobre areniscas intercaladas con lutitas y limolitas fracturadas y meteorizadas de la Formación Carhuaz, que en conjunto hacen al macizo rocoso incompetente, facilitando la ocurrencia de derrumbes, caída de rocas y deslizamientos, todos estos eventos estarían coadyuvando en la aparición de agrietamientos en las paredes de las viviendas.

Los sectores de Pillayacu, Pincullo y Shaguanga, se encuentran sobre calizas medianamente fracturadas de la Formación Jumasha sobre la cual se están desarrollando pequeños hundimientos y karstificación, que conllevan a la formación de dolinas y su posterior afectación a viviendas.

La configuración morfológica del caserío San Antonio de Juprog, está conformada por montañas de rocas sedimentarias con pendientes que varían de media (5° - 15°) a muy escarpada (45°), que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa, como lo suscitado en los sectores Jatun Piruro, Chipta, Pillayacu y Pincullo; de igual modo las pendientes bajas (1° - 5°) contribuyeron en el desarrollo de hundimientos.

Los peligros geológicos identificados, corresponden a derrumbes y deslizamientos antiguos y activos en el sector Jatun Piruro; caída de rocas recientes y derrumbes antiguos en la ladera noreste del sector Chipta; y derrumbes reactivados en ladera suroeste de Juprog. Además, se han identificado otros peligros tipo hundimientos como procesos kársticos en los sectores Pillayacu, Pincullo y Shaguanga. Todos estos procesos de remoción en masa, podrían incrementar su dimensión y afectar las viviendas del caserío San Antonio de Juprog.

Dado los agrietamientos de las viviendas en el Caserío (la más cercana a 1 km) además del factor geológico, es importante determinar si estas podrían ser causadas, también, por las voladuras en las operaciones de la Unidad Minera Antamina.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa que se configuran en el caserío, se determina que los sectores de Jatun Piruro, Chipta, Juprog, Shaguanga y Pillayacu, presentan Peligro Medio a Alto por deslizamientos, derrumbes y caída de rocas. Así mismo, los sectores Pillayacu, Pincullo y Shaguanga presentan Peligro Medio a Alto a hundimientos.

Por todo lo expuesto anteriormente, se recomienda instalar geófonos y/o acelerógrafos en los sectores y alrededores del caserío de San Antonio de Juprog, en el tiempo de ejecución de la voladura del tajo abierto de la unidad minera Antamina, para determinar la incidencia de estos en las rajaduras de las viviendas y/o “detonar” posibles desprendimientos de rocas y/o derrumbes. Se recomienda consultar con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la presidencia del Consejo de Ministros, según Oficio múltiple N° D000141-2023-PCM-SSGD, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos en el caserío de San Antonio de Juprog, conformada por ocho caseríos, en cuyas paredes de las viviendas se presentan agrietamientos y fallas estructurales.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate, Mauricio Núñez Peredo y Richard Huayta Pacco, realizar la evaluación de peligros geológicos, el día 19 de abril del 2023, considerada como una visita técnica conjunta a solicitud del comité.

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 aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone a consideración de la Presidencia del Consejo de Ministros, Municipalidad Distrital de San Marcos y entidades encargadas en la Gestión del Riesgo de Desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros en el caserío San Antonio de Juprog, que compromete viviendas e infraestructura vial.
- b) Determinar los factores condicionantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Alcances

El informe permitirá conocer las características geológicas del macizo rocoso y depósitos cuaternarios de los ocho sectores que conforman el caserío de San Antonio de Juprog, sus implicancias en la generación de movimientos en masa y hundimientos que afectan las viviendas y población del caserío; para lo cual se desarrolla las siguientes evaluaciones:

1.2.1. Investigaciones básicas

- Caracterización de la masa rocosa y depósitos cuaternarios involucrados, en base a un mapeo detallado.
- Determinar la calidad del suelo involucrado en la ocurrencia de movimientos en masa y otros peligros.

- Evaluación de los factores detonantes que influyen sobre la estabilidad de los sectores evaluados (precipitaciones pluviales, sismos, actividad antrópica, entre otros).

1.3. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en el distrito de San Marcos, se tiene la siguiente información:

- Boletín N° 38, serie C: Riesgos Geológicos en la Región Áncash, realizado por Zavala, B. et al 2009; realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 250 000, donde el caserío de San Antonio de Juprog, se encuentran en zona de susceptibilidad Moderada a Muy Alta. Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

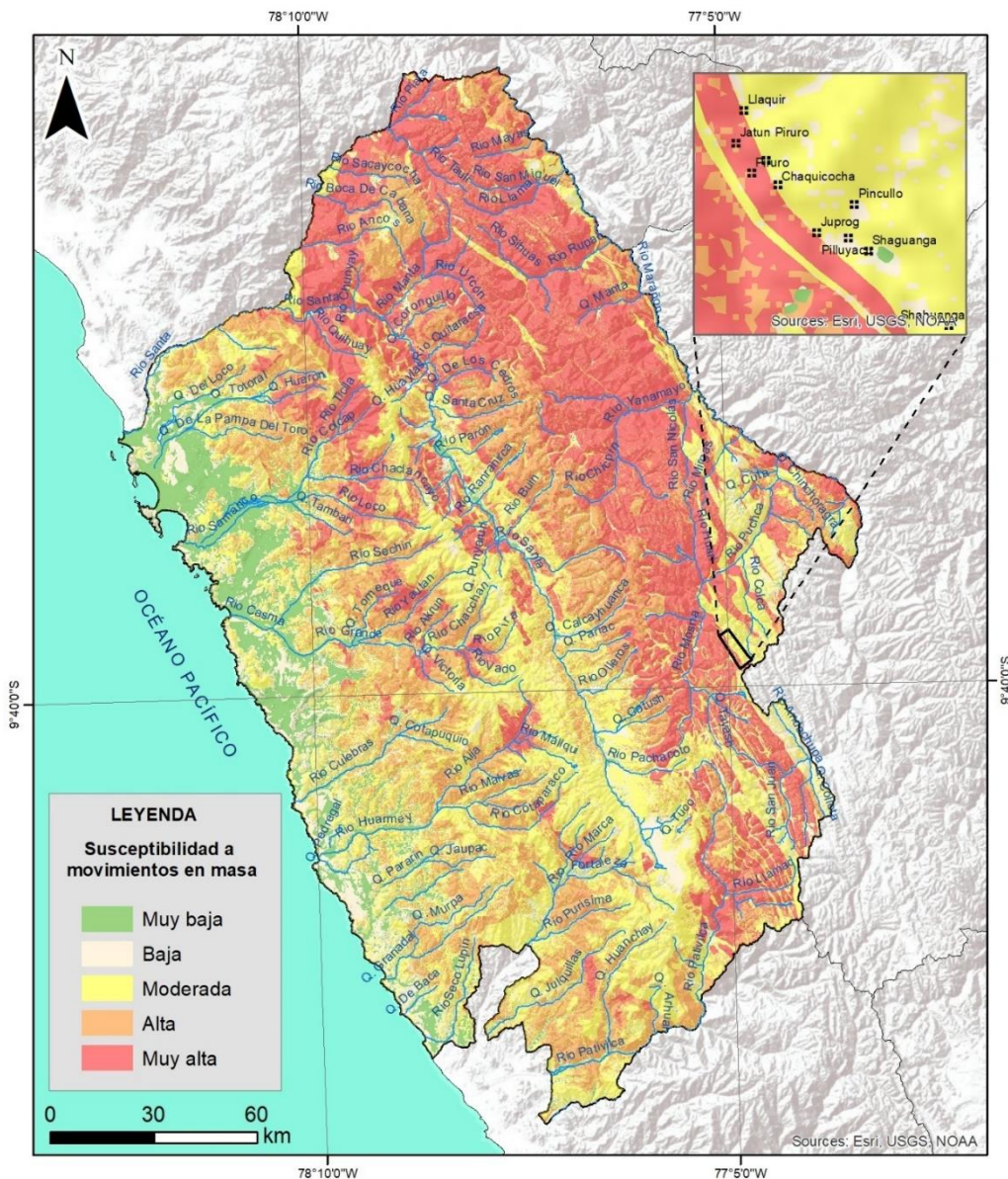


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región Áncash. Fuente Zavala, 2012.

1.4. Aspectos generales

1.4.1. Ubicación

El caserío de Juprog, se sitúa a la margen derecha de la quebrada del mismo nombre, al suroeste de la Unidad Minera Antamina y a 2.5 km al noreste de la localidad de Chavín de Huántar. Políticamente, los sectores evaluados, pertenece al distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Áncash (figura 2); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 s) (tabla 1):

Tabla 1. Coordenadas del área evaluada

| N° | UTM - WGS84 - Zona 18L | | Geográficas | |
|--|------------------------|---------|-------------|--------------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 268332 | 8945318 | 9°32'5.15" | 77° 6'37.65" |
| 2 | 272716 | 8948377 | 9°30'26.47" | 77° 4'13.34" |
| 3 | 277711 | 8939889 | 9°35'3.64" | 77° 1'31.24" |
| 4 | 272227 | 8937633 | 9°36'15.98" | 77° 4'31.49" |
| <i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i> | | | | |
| Hatun Piruro | 270996 | 8943034 | 9°33'19.86" | 77° 5'11.37" |
| Chipta | 271411 | 8942578 | 9°33'34.62" | 77° 4'56.57" |
| Piruro | 271284 | 8942380 | 9°33'41.53" | 77° 5'1.00" |
| Chaquicocha | 271789 | 8942120 | 9°33'49.68" | 77° 4'44.02" |
| Juprog | 272560 | 8941197 | 9°34'19.99" | 77° 4'19.91" |
| Pilluyacu | 272971 | 8941080 | 9°34'22.77" | 77° 4'6.13" |
| Pincullo | 273293 | 8941755 | 9°34'2.32" | 77° 3'55.91" |
| Shaguanga | 273527 | 8940941 | 9°34'27.65" | 77° 3'48.64" |

1.4.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet-sede central), mediante la siguiente ruta (cuadro 1):

Cuadro 1. Rutas y accesos al área evaluada.

| Ruta | Tipo de vía | Distancia (km) | Tiempo estimado |
|--|---------------------|----------------|-----------------|
| Lima – Catac | Carretera asfaltada | 367 | 6h 18 minutos |
| Catac – San Marcos | Carretera asfaltada | 76.2 | 1h 45 minutos |
| San Marcos – Caserío San Antonio de Juprog | Trocha carrozable | 60.8 km | 2 h |

1.4.3. Población

Según el sistema de Información geográfica del Instituto Nacional de estadística e Informática (INEI, 2017), la distribución poblacional del caserío San Antonio de Juprog asciende a 484 Habitantes (varones, mujeres y niños), y 433 viviendas censadas (tabla 2). <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

Con apoyo de los trabajos de campo se evidencia que las viviendas del Caserío están construidas en su mayoría de material rústico (adobes).

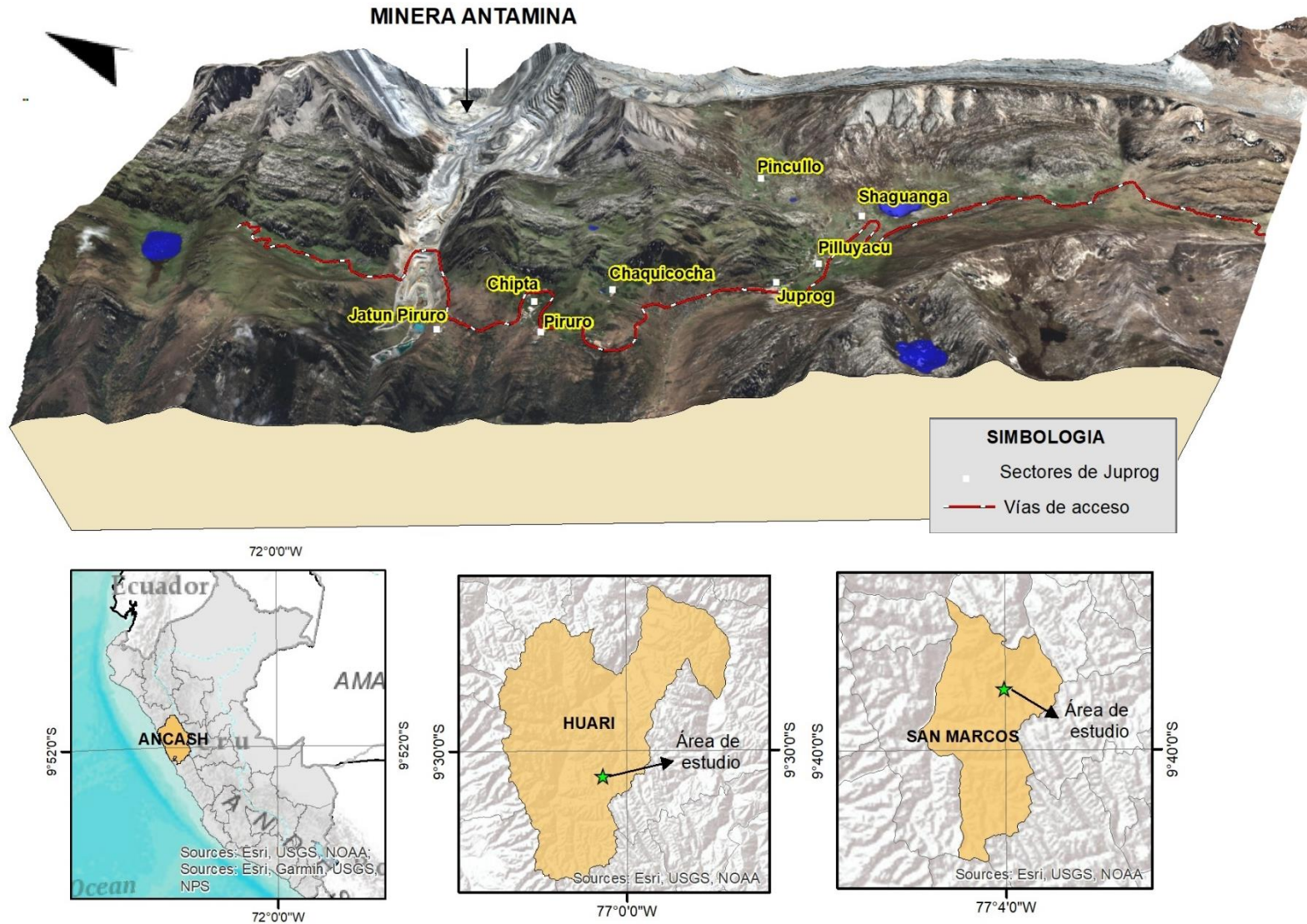


Figura 2. Mapa de ubicación del área evaluada.

Tabla 2. Distribución poblacional del caserío San Antonio de Juprog.

| DISTRITO | SECTORES | VIVIENDA |
|------------|--------------|----------|
| San Marcos | Jatun Piruro | 30 |
| | Chipta | 40 |
| | Piruro | 25 |
| | Chaquicocha | 30 |
| | Juprog | 200 |
| | Pilluyacu | 45 |
| | Pincullo | 47 |
| | Shaguanga | 16 |

Fuente: Instituto Nacional de estadística e informática (2017).

1.4.1. Clima

Según la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el caserío de San Antonio de Juprog y alrededores presenta un clima semiseco, frío, con deficiencias de lluvias en invierno y humedad relativa calificada como húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia, según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el periodo 2019-2022 fue de 35.8 mm (figura 3). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de diciembre a abril.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 19.0°C en verano y un mínimo de 2.0°C en invierno. Así mismo, presenta una humedad promedio de 60% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

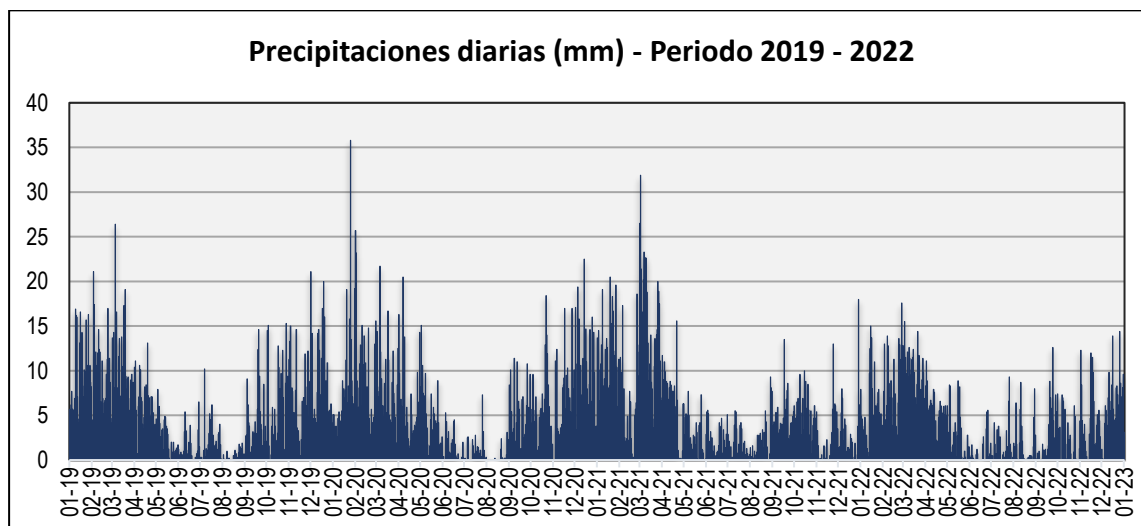


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2019-2022. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. Fuente: Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/9082407>.

2. DEFINICIONES

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

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

CAÍDA DE ROCAS: Tipo de caída producido cuando se separa una masa o fragmento de roca y el desplazamiento es a través del aire o caída libre, a saltos o rodando.

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

COLUVIO-DELUVIAL: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interestratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

DERRUMBE: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

DESLIZAMIENTO: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla (Cruden y Varnes, 1996). Según la forma de la superficie de falla se clasifican en traslacionales (superficie de falla plana u ondulada) y rotacionales (superficie de falla curva y cóncava).

DESLIZAMIENTO ROTACIONAL: Tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal.

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

FACTOR CONDICIONANTE: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

FACTOR DETONANTE: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

FORMACIÓN GEOLÓGICA: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

FRACTURA (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 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.

MOVIMIENTO EN MASA Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladero abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

SUSCEPTIBILIDAD: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

HUNDIMIENTO: Desplazamiento vertical brusco de una masa de suelo o roca debido en muchas ocasiones a la falla estructural de la bóveda de una cavidad subterránea. Suelen estar asociados a procesos de disolución de rocas carbonatadas o a la minería subterránea (Hauser, 2000).

KARST: Se produce por disolución indirecta del carbonato cálcico de las rocas calizas debido a la acción de aguas ligeramente ácidas. El agua se acidifica cuando se enriquece en dióxido de carbono, por ejemplo, cuando atraviesa un suelo y reacciona con el carbonato, formando bicarbonato, que es soluble. Las aguas superficiales y subterráneas van disolviendo la roca y creando galerías y cuevas que, por hundimiento parcial, forman dolinas y, por hundimiento total, forman cañones. Existen otras muchas formas kársticas, según si estas formas se producen en superficie o por el contrario son geomorfológicas que aparecen en cavidades subterráneas. En el primer caso se denominan exokársticas: Lapiaces o lenares, son surcos o cavidades separados por tabiques más o menos agudos. Dolinas o torcas son depresiones (no más de la hectárea) formadas en los lugares donde el agua se estanca. Poljes son grandes depresiones (centenares a miles de hectáreas) alargadas de fondo horizontal enmarcadas por vertientes abruptas. Gargantas son valles estrechos y profundos, causados por los ríos. Cuevas se forman al infiltrarse el agua. Suelen formarse estalactitas a partir del agua, rica en carbonato cálcico, que gotea del techo, y estalagmitas a partir del agua depositada en el suelo.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente del terreno es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa; ya que actúa como uno de los factores condicionantes y dinámicos en la generación de movimientos en masa.

Se consideraron 5 rangos de pendientes que van de 0°-1° considerados terrenos llanos; 1° a 5° terrenos inclinados con pendiente suave; 5° a 15° pendiente moderada; 15° a 25° pendiente fuerte; 25° a 45° pendiente muy fuerte a escarpado; finalmente, mayor a 45° terreno como muy escarpado (cuadro 2).

En la figura 4A y 5A, se muestra el mapa de pendientes del actual relieve de los sectores Jatun Piruro, Chipta y Piruro, elaborado en base al modelo de elevación digital de 0.30 m de resolución, obtenido a través de fotogrametría (Dron); donde se muestra que la cima donde se emplaza el poblado de Jatun Piruro presenta pendiente moderada (5°-15°) a fuerte (15°-25°), con un cambio de pendiente muy fuerte (25°-45°) a muy escarpado (>45°) en la ladera sureste -suroeste, lo que condicionó la ocurrencia de movimientos en masa.

El sector Chipta ubicado en la base de un circo glaciar presenta baja a moderada (15°) pendiente, sin embargo, las laderas que circundan el sector poseen pendientes muy fuertes (40°) a abruptas (55°-75°), lo que contribuye a caída de rocas de la ladera noreste.

Cuadro 2. Rangos de pendiente identificados en el área evaluada.

| RANGO | DESCRIPCIÓN | SECTOR | UNIDAD GEOMORFOLÓGICA |
|---------|----------------------------------|---|---|
| 0°-1° | Terreno Llano | En las morfologías de valle glaciar y fluvio glaciar se diferencian pequeños sectores con esta pendiente, esporádicamente en las cimas de montañas redondeadas a subredondeadas. | Valle glaciar Valle fluvio-glaciar |
| 5°-15° | Pendiente moderada | Se presenta en las cimas de montañas, así como en las depresiones (circo glaciar) formadas por la acción erosiva del glaciar. | Cima de montañas Valle glaciar |
| 15°-25° | Pendiente fuerte | Se presenta en las partes bajas de las laderas que delimitan los sectores de Chipta, Juprog Chaquicocha y Pillayacu. | Parte baja de las laderas Vertiente coluvial Vertiente coluvio-deluvial |
| 25°-45° | Pendiente muy fuerte o escarpada | Se presenta en las partes medias - altas de las laderas que delimitan los sectores de Chipta, Juprog Chaquicocha y Pillayacu. Así mismo se aprecia en las vertientes coluviales y coluvio deluviales. | Laderas Vertiente coluvial Vertiente coluvio-deluvial |
| >45° | Terreno muy escarpado | Se observan en las laderas subverticalizadas de calizas de la Formación Jumasha y areniscas de la Formación Carhuaz. | Laderas Vertiente coluvial Vertiente coluvio-deluvial |

3.2. Modelo digital de elevaciones (MDE)

En la figura 4B y 5B, se presenta el mapa de alturas de los sectores Jatun Piruro, Chipta y Piruro, clasificados en tres niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de elevaciones. Se observa que el evento antiguo de Jatun Piruro inicia a una altura de 4160 m s.n.m. y finaliza en la cota 3930 m s.n.m, haciendo una diferencia de 230 m.

El evento más reciente (caída de rocas) en el sector de Chipta, inicia a una altura de 4200 m s.n.m. y finaliza a 4100 m s.n.m., evidenciado por bloques de hasta 0.80 m.

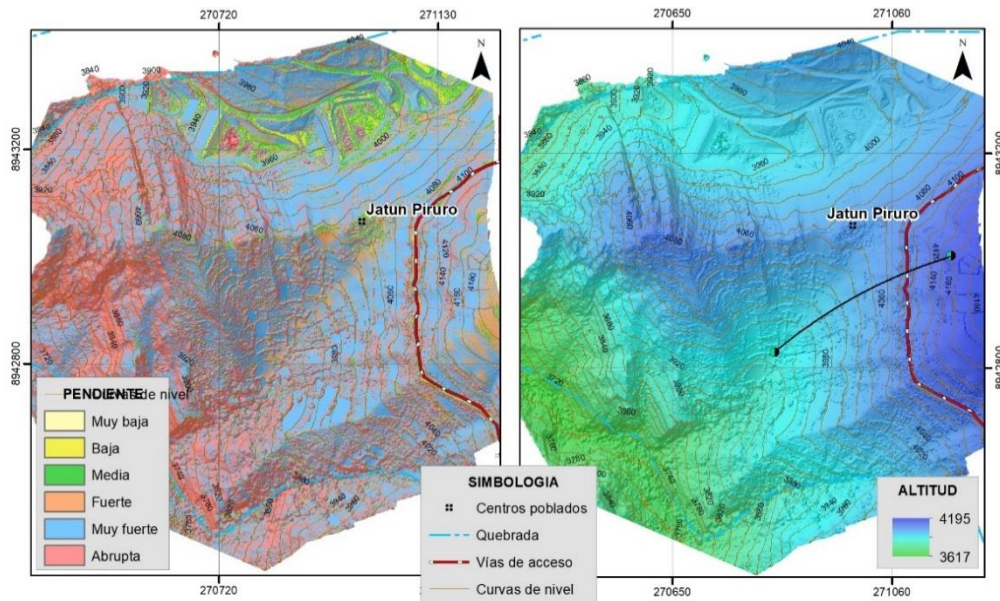


Figura 4. A) Mapa de pendientes del sector Jatun Piruro. B) Mapa de elevaciones de Jatun Piruro.

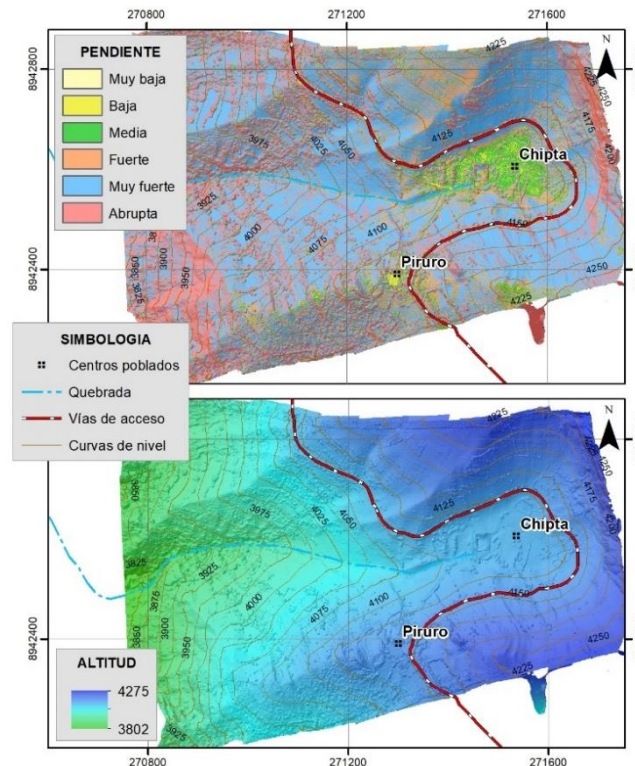


Figura 5. A) Mapa de pendientes de los sectores Chipta y Piruro. B) Mapa de elevaciones de los sectores Chipta y Piruro.

3.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades y subunidades geomorfológicas en el área de estudio se utilizó el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve. Asimismo, para la delimitación de las subunidades, se consideró los límites de las unidades litoestratigráficas (afloramiento y substrato rocoso, así como depósitos superficiales).

En el Mapa 3 (Anexo 1) se presentan las subunidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio. Del mismo modo, en la figura 6, mediante el perfil longitudinal se muestra la morfología que alberga a los 8 sectores del caserío de San Antonio de Juprog.

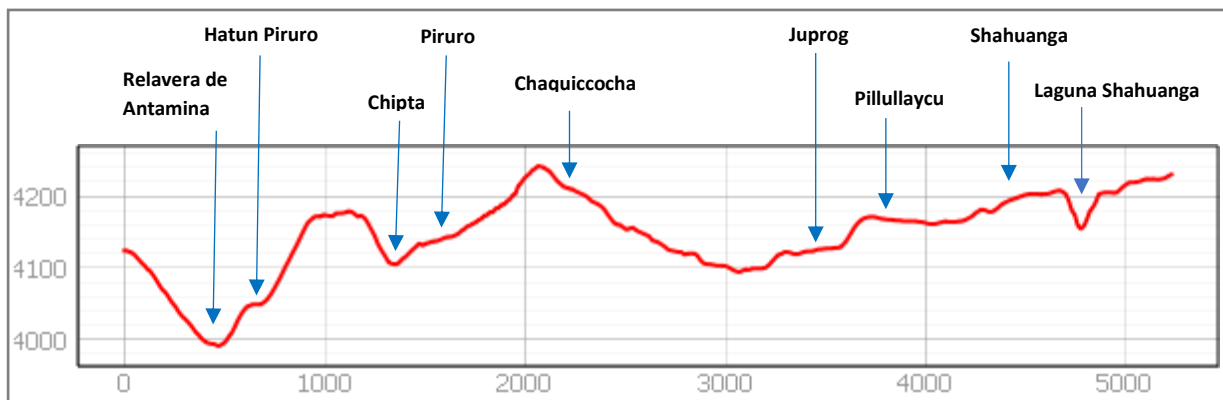


Figura 6. Perfil longitudinal, muestra la morfología donde se encuentran asentados los sectores del caserío San Antonio de Juprog.

3.1.1. Unidad de montaña

Montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs): Su asociación litológica es principalmente sedimentaria, en su mayoría areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas negras de las formaciones Chimú, Carhuaz y Santa, de cimas subredondeadas a alargadas y laderas de pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°). Así también se tienen calizas grises de la Formación Jumasha, con cimas puntiagudas y pendientes que varían de muy fuertes (25°-45°) a escarpada (>45°) (figura 7).

3.1.2. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afecta las unidades de montaña, generalmente se encuentran en las laderas y piedemonte, aquí se tienen:

Vertiente coluvial (V-c): Corresponde a los paisajes originados por procesos gravitacionales, varían de pequeños a grandes dimensiones, probablemente detonados por lluvias excepcionales y/o prolongadas o actividad sísmica.

Estas geoformas se evidencian claramente en la ladera noreste que circunda el sector Chipta en forma de caída de rocas, las cuales alcanzan hasta el sector referido. Así mismo, se observa en la ladera suroeste de pendiente fuerte que delimita Juprog.

Vertiente coluvio deluvial (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, derrumbes, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea, con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles.

Su morfología es usualmente convexa y con disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa

Se observan en las laderas de los sectores que delimitan Chipta y Pillayacu, en forma de derrumbes y deslizamiento, de formas onduladas e inclinación fuerte (25°).



Figura 7. Vista con dirección al noreste, se observa subunidades geomorfológicas conformadas por montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs) y Vertiente coluvio deluvial.

3.1.3. Unidad glacial

Terraza fluvio glacial: Se designan a los depósitos formados por las aguas corrientes procedentes de la fusión de glaciares con el aguas de río. Sobre esta geoforma se encuentra asentado el poblado de Juprog y parte de las viviendas de Shaguanga.

Circo glacial. Geoforma originada por el constante deslizamiento y frotamiento de hielo compacto en su zona de acumulación o alimentación. Suele tener forma de anfiteatro o de silla y costados pronunciados o verticales rodeados de crestas. Sobre esta geoforma se encuentra asentado el sector de Chipta, delimitado por el noreste por calizas de la Formación Jumasha y por los flancos por areniscas de la Formación Carhuaz.

3.1.4. Geoforma antropogénica

Minería tajo abierto: Hacia el noreste del caserío San Antonio de Juprog se encuentra la unidad minera Antamina de tajo abierto, alberga alrededor de 3400 ha aproximadamente, cuya relavera se extiende por lado noroeste de Jatun Piruro (fotografía 1).



Fotografía 1. Vista con dirección al noreste, se observa subunidades geomorfológicas conformadas por montaña estructural en roca sedimentaria (ME-rs) y Vertiente coluvio deluvial.

3.4. Índice Topográfico de Humedad (TWI)

El índice topográfico de humedad (TWI) permite identificar los lugares potenciales donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de aguas de escorrentía superficial (Núñez, 2023).

Esta variable es un atributo compuesto del terreno ya que proviene de dos primarios. Cuando el área de captación se incrementa y el gradiente decrece, el índice de humedad y el contenido de humedad del suelo decrecen. Al combinar datos sobre gradiente y área de captación, dicho índice toma en cuenta tanto la geometría de la pendiente local como la localización del sitio en el paisaje (Kienzle, 2004).

La obtención de este indicador fue realizada mediante una secuencia de análisis de modelos digitales de terreno (MDT) de alta resolución y precisión, obtenido de la fotogrametría del dron y procesado en SAGA GIS.

En la figura 8, se muestra el TWI realizado para el área de estudio, donde la mayor cantidad de acumulación de agua (señaladas en el mapa en colores azules), discurren desde las zonas superficiales y pendientes medias a escarpadas en direcciones, a zonas planas, como valles y ríos, lo que sugiere que, en incrementos de precipitaciones pluviales, la posibilidad de un incremento de la inestabilidad de las laderas y producirse movimientos en masa.

Del mismo modo, de forma más local y precisa se calculó el TWI para el sector Chipta, ya que estas zonas muestran una importante cantidad de drenajes, que discurren ladera abajo en

temporada de lluvias intensas. Por lo cual se debe emplear obras de drenajes para evitar que la infiltración genere mayor humedecimiento en el terreno y posterior afectación a las viviendas del sector referido.

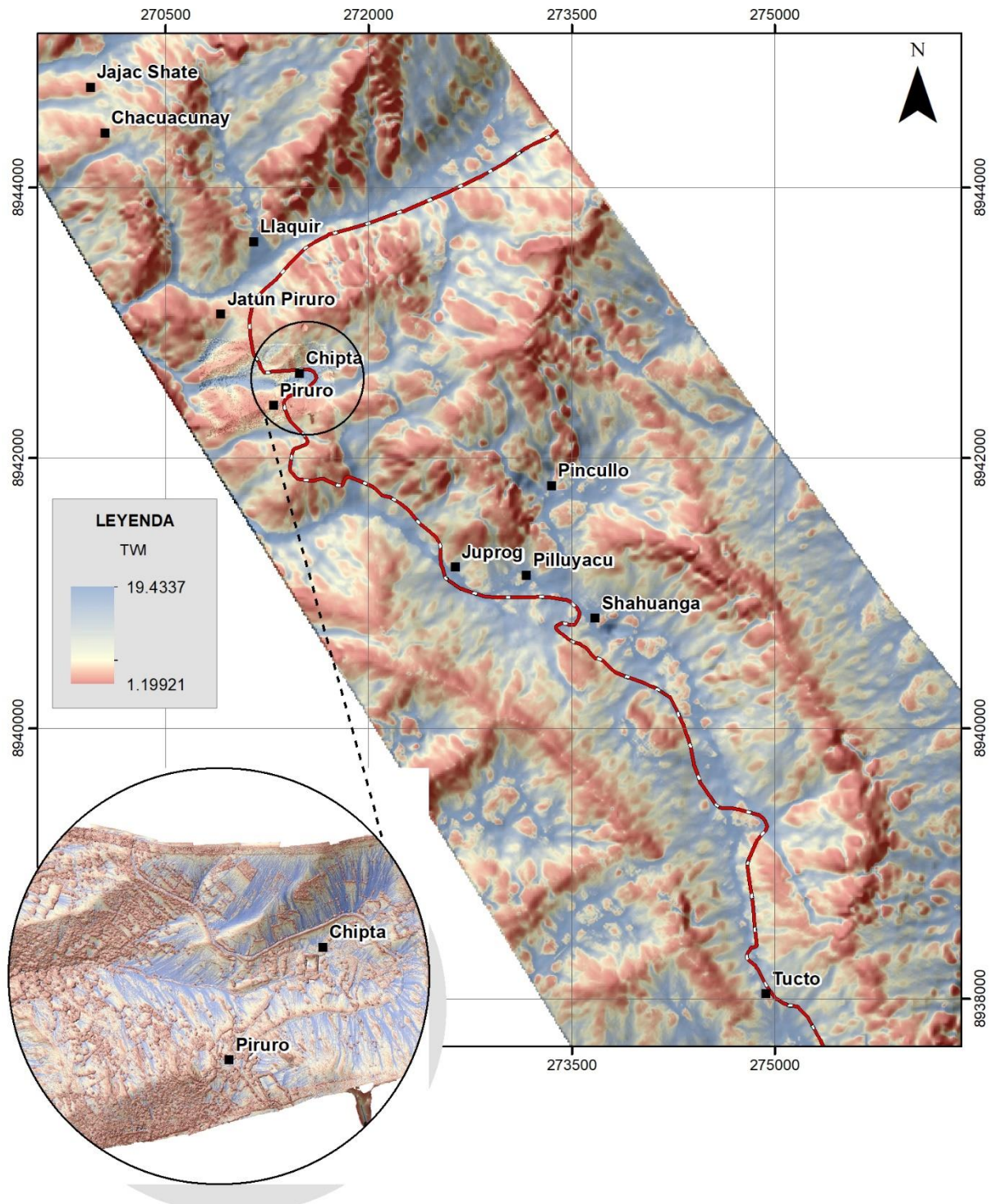


Figura 8. Mapa de la acumulación de agua (TWI) en el caserío San Antonio de Juprog y alrededores.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología se desarrolló en base a la información obtenida en campo, apoyada en la carta Geológica del cuadrángulo de Recuay – hoja 20-i, (Cobbing et al., 1996), a escala 1/100 000, donde se presentan rocas sedimentarias del cretácico y depósitos Cuaternarios, estos materiales a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

4.1. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas aflorantes son principalmente de origen sedimentario, entre ellas se tienen a las formaciones Chimú, Carhuaz y Jumasha; así como depósitos recientes coluvio-deluvial, coluvial, fluvio-glaciar y glaciar, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad. En este informe se describirá con mayor detalle las unidades Carhuaz y Jumasha, ya que involucran la mayor parte del área de estudio.

4.1.1. Formación Chimú (Ki-chi)

Aflora ampliamente al sureste de Juprog, compuesta por bancos medianos a gruesos de areniscas cuarzosas blancas de grano fino a medio, intercaladas con limoarcillitas carbonosas y niveles discretos de carbón. Hacia la parte superior está compuesta por bancos gruesos de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con laminaciones sesgadas y horizontales.

El grosor de la unidad es variable, en la parte central, al oeste de Huari puede alcanzar los 500 m, mientras que hacia el norte se adelgaza y puede variar entre los 200 y 300 m.

4.1.2. Formación Santa (Ki-s)

Litológicamente, está compuesta por intercalaciones de areniscas cuarzosas y limoarcillitas calcáreas de color verde, además de delgados niveles de calizas. Hacia la parte superior consiste principalmente de bancos delgados de calizas grises a veces con chert, intercaladas con algunos niveles de limoarcillitas calcáreas grises y con presencia de lentes de yeso. El grosor de la unidad varía entre 80 y 100 m.

4.1.3. Formación Carhuaz (Ki-ca)

De acuerdo a Valdivia y Mamani (2003), consiste en bancos delgados a medianos de areniscas cuarzosas de grano medio a fino (fotografía 2), que se intercalan con limoarcillitas grises, negras, verdes y rojas (fotografía 3). Hacia la parte superior resalta una secuencia de areniscas blancas con laminaciones oblicuas curvas y horizontales. Presenta un grosor que puede alcanzar los 500 m.

En el contexto regional todas estas secuencias de rocas sedimentarias se encuentran fuertemente fracturadas y plegadas formando anticlinales y sinclinales de dirección NO-S. De forma muy local, la disposición de los estratos es muy variable (tabla 3). Estas condiciones geológicas, favorecen la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes.

Los sectores de Jatun Piruro y Piruro se encuentran asentadas sobre esta Unidad, las areniscas se presentan de ligera a moderada meteorización y medianamente fracturadas, sin

embargo, las lutitas y limolitas se presentan muy fracturadas y meteorizadas; ello hace que en conjunto el macizo rocoso sea considerado de regular calidad geotécnica.



Fotografía 2: Areniscas cuarzosas de grano medio a fino, intercaladas con limoarcillitas grises, negras, verdes y rojas.



Fotografía 3. Vista de la intercalación de lutitas y limolitas en el sector Jatun Piruro, se presentan muy fracturadas y meteorizadas.

Tabla 3. Datos de rumbo y buzamiento en las areniscas cuarzosas del sector Piruro.

| Sector | Az | Bz | DipDir |
|--------|------|-----|--------|
| Piruro | 337° | 60° | 65° |
| | 180° | 55° | 270° |

4.1.4. Formación Jumasha (Ks-j)

Esta unidad está conformada por 3 secuencias: La inferior consiste en una alternancia de limoarcillitas calcáreas negras y grises con delgados niveles de caliza. La parte media comprende una secuencia monótona de calizas grises en estratos medianos a gruesos. La parte superior está compuesta por calizas negras y grises, estratificadas en bancos medianos a delgados, que se intercala con limoarcillitas grises, a veces negras (fotografía 4).

La estratificación tiene una orientación al SW (tabla 4), en conjunto están muy plegadas, por su cercanía a lineamientos de fallas se asume que esta unidad se encuentra medianamente fracturada con resistencia media a baja y altamente meteorizada. Además, está asociada a caída de rocas y derrumbes; y otros peligros geológicos tipo hundimientos (karstificación).

Los sectores de Pillayacu, Pincullo, Shaguanga y parte de Juporg se encuentran asentadas sobre esta formación geológica.



Fotografía 4. Calizas grises de la Formación Jumasha a la altura del sector Pincullo.

Tabla 4. Datos de rumbo y buzamiento de calizas de la Formación Jumasha.

| Sector | Az | Bz | DipDir |
|----------|------|-----|--------|
| Pincullo | 145° | 58° | 215° |

4.2. Depósitos superficiales

4.2.1. Depósito coluvio – deluvial

Este depósito se presenta en las laderas que circunda Chipta, así como en las laderas de Jatun Piruro, y al suroeste de Juprog, compuestos por fragmentos líticos de origen sedimentario, angulosos a subangulosos con diámetros de hasta 1 m, envueltos en una matriz de arenas, limos y arcillas. Se han originado por meteorización y destrucción mecánica de las rocas preexistentes, así como por depositación gravitacional y aguas de escorrentía superficial, produciéndose acumulaciones en la base de las laderas (fotografía 5).

Las depositaciones observadas en campo son de estructura masiva y poroso, heterogenias en su composición, muy variable de sus propiedades mecánicas y espesores. Están medianamente consolidados por acomodo de sus constituyentes.



Fotografía 5. Sector Jatun Piruro, se observa depósito coluvio - deluvial, compuesto por fragmentos de bloques sedimentarios, inmersos en matriz arena, limos y arcillas.

4.2.2. Depósito coluvial

Los depósitos inconsolidados identificados en los diferentes sectores de San Antonio de Juprog, están compuestos por bloques y gravas no consolidadas, heterométricas y angulosas de origen sedimentario (areniscas cuarzosas, limoarcillitas y calizas), dentro de una escasa matriz limo arcillosa. Son suelos inestables, presentan malas características geotécnicas y se consideran no competentes, susceptibles a la generación de movimientos en masa, en particular caída de rocas y derrumbes. Por las evidencias de campo se cataloga este depósito como una zona inestable (fotografía 6).



Fotografía 6. Vista al noreste del sector Chaquicocha depósito coluvial, compuesto por bloques angulosos, gravas arenas y limos, de compacidad suelta.

4.2.3. Depósito fluvioglacial (Q-fgl)

Son depósitos que provienen de la fusión de los glaciares. Es decir, marca la transición del glaciar al río existe un complejo fluvioglacial que consta de una depresión terminal del glaciar, un arco de morrenas constituidos por los materiales más gruesos abandonados por la lengua del glaciar, un cono de transición que prolonga la morrena aguas abajo, cuyo origen es puramente fluvial y, por último, unas terrazas aluviales constituidas por los sedimentos más finos que han ido sobreponiéndose en forma de depósitos. Están constituidos por bloques de rocas de diferentes composiciones, gravas, arenas, y limos.

4.2.4. Depósitos antrópicos (Q-an)

Antropógeno o antrópico, es un término vinculado de algún modo al ser humano. La geotecnia, lo identifica como un terreno que ha sido modificado por el hombre. Para el caso del área de estudio está asociado a procesos de transformación minera, debido a la presencia de la unidad minera de Antamina.

4.3. Contexto estructural

En el contexto regional, existen controles estructurales que atraviesan los sectores del caserío San Antonio de Juprog y la unidad minera de Antamina, en este último, manifestándose a través de una serie de fallas normales con dirección NE transversales al sistema andino justo

en el valle del yacimiento, y otras que son subparalelas pero que se caracterizan por ser fallas de sobreescurrecimiento acompañados de pliegues con orientación NW.

Estas estructuras constituyen un contacto fallado entre dos tipos de unidades geológicas, en este caso entre las formaciones Carhuaz y Jumasha. Por lo observado en el terreno, aparentemente esta falla no ejerce influencia alguna en la estabilidad de los terrenos que atraviesan, siendo observable solo por interpretación geológica.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos identificados en el caserío San Antonio de Juprog, corresponden a movimientos en masa de tipo derrumbes, caída de rocas y deslizamientos antiguo y recientes (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por las condiciones del macizo rocoso (calizas fracturadas y areniscas intercaladas con lutitas y limolitas meteorizadas) y depósitos de eventos antiguos; así como, a la intervención antrópica (vibraciones que genera la voladura del tajo abierto de Antamina), que conllevó a la ocurrencia de derrumbes, caída de rocas y deslizamientos y la ocurrencia de otros peligros geológicos tipo hundimientos (Anexo 1: Mapa 4).

A continuación, se detallará los eventos identificados en los ocho sectores evaluados del caserío San Antonio de Juprog (cuadro 5).

5.1. Movimientos en masa

La cartografía de peligros geológicos en el caserío San Antonio de Juprog, permite identificar y tipificar los diferentes eventos que están afectando a las viviendas y sus medios de vida. Se tienen movimientos en masa antiguos cuya reactivación y/o la extensión puede conllevar a daños mayores.

En la figura 9, se muestra los siete sectores con eventos identificados, detallados a continuación:

Jatun Piruro: Se observan depósitos de derrumbe antiguo, evidenciado por bloques de hasta 0.20 m, inmersos de matriz arena limosa. Además, en la ladera suroeste, de pendiente fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°) se inventario un deslizamiento con escarpa de forma semicircular de aproximadamente 15 m de longitud y un salto de 0.30 m (figura 10); todas estas condiciones geológicas estarían contribuyendo con las rajaduras de las paredes de las viviendas.

Chipta: En la ladera noreste se observa caída de rocas tipo calizas, con diámetro de hasta 5 m dispuestos al pie de ladera, y otros de menor tamaño (0.80 m en promedio) alcanzaron una distancia mayor, en dirección a las viviendas del sector. La dinámica de este evento (golpe, rebote y rodamiento) causó la afectación de dos viviendas asentadas al pie de la ladera. Por otro lado, en las laderas noroeste y sureste se evidenció eventos antiguos, cuyo material removido se depositó en el fondo del circo glaciar, actualmente el sector Chipta se encuentra asentado sobre esta geoforma.

Se presenta una surgencia de agua al pie de la ladera, el cual discurre en dirección al sector por medio de un canal sin revestir; generando humedecimiento y saturación en el terreno, lo que podría inestabilidad con mayor rapidez el terreno.

Chaquicocha: Se encuentra asentado en una depresión de circo glaciar, donde se ha formado un manantial de 53 m de largo y 20 m de ancho. Así también en la ladera noreste de pendientes muy fuerte (25°-45°), se tiene depósitos de derrumbes antiguos, conformado por bloques de hasta 4.5 m, inmersos en matriz arena limosa.

En el camino que conduce a Juprog se evidencia una pequeña avalancha de rocas con bloques de hasta 1 m de diámetro, dispuesta en la ladera empinada. La reactivación de este evento podría afectar a las viviendas asentadas al pie de la ladera y obstruir el paso a dicho sector.

Juprog: Se encuentra asentada sobre una terraza fluvio-glaciar, medianamente consolidado, sin embargo, en la ladera suroeste que delimita el Caserío, se observa un derrumbe en proceso de reactivación, producida en ladera de pendiente que varía de fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°). Se infiere que el derrumbe con longitud 495 m y un ancho de 230 m, se reactivó por cortes de talud.

El depósito inconsolidado se encuentra dispuesto en la ladera, con muchas probabilidades de remover material en temporada de lluvias intensas y/o prolongadas, lo que afectaría directamente a las viviendas de Juprog.

Pillayacu: Localizado sobre sustrato rocoso de calizas fracturadas de la Formación Jumasha, cubierto por depósitos de eventos antiguos proveniente de la ladera noroeste.

Sobre esta unidad se ha inventariado seis procesos de hundimientos, producto de la karstificación de las calizas, con muchas probabilidades de incrementar en tamaño y profundidad, hasta formar una dolina.

Así también hacia el suroeste se presenta una avalancha de rocas que llegó hasta la margen izquierda del río Juprog. Este evento se reactivó en derrumbe, formando una longitud aproximada de 550 m y un ancho de 190 m, con una pendiente que varía de fuerte (15°.25°) a muy fuerte (25°-45°).

Pincullo: Se encuentra asentada sobre las calizas fracturadas de la Formación Jumasha. Se evidencia hundimientos producto de los procesos kársticos de estas rocas.

Así también, se observa caída de rocas de la ladera (15°-25°) noreste que circunda el sector, afectando las viviendas asentadas al pie de la ladera.

Shaguanga: Parte de las viviendas del sector se encuentran sobre calizas fracturadas de la Formación Jumasha, y sobre depósito fluvio-glaciar. Se observan viviendas con paredes agrietadas.

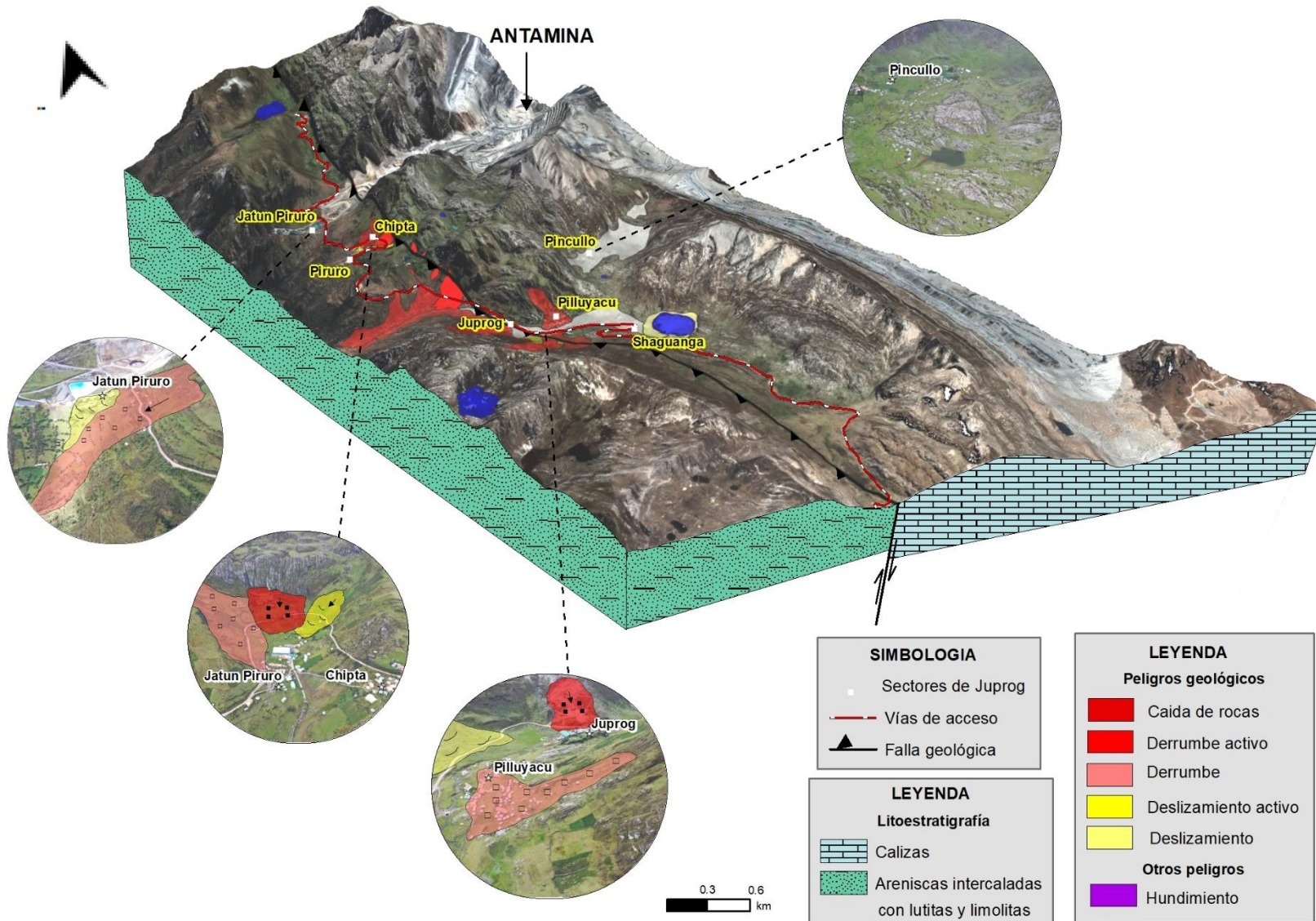


Figura 9. Peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos identificados en el caserío de San Antonio de Juprog.

Cuadro 3. Se describe los peligros geológicos y sus características geológicas y geomorfológicas de cada sector.

| SECTOR | TIPO DE PELIGRO | GEOMORFOLOGIA | LITOLOGIA | AFECTACIÓN |
|---------------------|---|--|--|--|
| Jatun Piruro | Derrumbes y deslizamientos activo e inactivo latente en la ladera sureste del sector. | Montaña sedimentaria, vertiente coluvio deluvial | Depósitos coluvio deluviales, areniscas intercaladas con lutitas y limolitas de la Formación Carhuaz. | Viviendas con paredes agrietadas (figura 11) |
| Chipta | Derrumbes y deslizamientos activo e inactivo latente, caída de rocas activo en la ladera noreste que circunda el sector (fotografía 7 y 8). | Montaña sedimentaria, vertiente coluvio deluvial. | Depósitos coluvio deluviales, Formación Carhuaz (areniscas intercaladas con lutitas y limolitas) y Jumasha (calizas) | Viviendas con paredes agrietadas (figura 12) |
| Piruro | No se evidencia peligro | Montaña de roca sedimentaria | Formación Carhuaz (areniscas intercaladas con lutitas y limolitas) | Viviendas con paredes agrietadas |
| Chaquicocha | Caída de rocas de la ladera noreste que limita el sector, contacto entre las formaciones Carhuaz y Jumasha, hundimiento. | Vertiente coluvial, Montañana en roca sedimentaria. | Depósito coluvial, areniscas intercaladas con lutitas y limolitas de la Formación Carhuaz y calizas de Jumasha. | Viviendas con paredes agrietadas. |
| Juprog | Derrumbes reactivados de la ladera suroeste que delimita el sector (figura 13). | Terraza fluvioglaciario, vertiente coluvial. | Depósito fluvioglaciario, vertiente coluvial | Viviendas con paredes agrietadas. |
| Pillayacu | Derrumbes antiguos en la ladera noroeste que limita el sector, así mismo, al sureste se observa derrumbe reactivado. Por otro lado, en el sector se evidencian hundimientos, producto de los procesos kársticos que sufren las calizas (figura 14). | Vertiente coluvio deluvial, montaña de roca sedimentaria, valle glaciofluvial. | Depósito coluvio deluvial, glaciofluvial y calizas de la Formación Jumasha. | Viviendas con paredes agrietadas. |
| Pincullo | Hundimientos producto de los procesos kársticos que sufren las calizas, caída de rocas de la ladera noroeste que delimita el sector (fotografía 9). | Montaña de roca sedimentaria. | Calizas de la Formación Jumasha. | Viviendas con paredes agrietadas. |
| Shaguanga | Hundimientos producto de los procesos kársticos que sufren las calizas (fotografía 10). | Valle fluvioglaciario. | Depósito fluvioglaciario, calizas de la Formación Jumasha. | Viviendas con paredes agrietadas. |



Figura 10. Escarpa del deslizamiento de aproximadamente 30 cm, en la ladera suroeste del sector Jatun Piruro; con una inclinación de pendiente media a fuerte.



Figura 11. a, b, c y d) Viviendas de Jatun Piruro con paredes agrietadas, en dirección suroeste.



Fotografía 7. Caída de rocas de grandes bloques de caliza (5 m) desde la ladera suroeste que circunda el sector de Chipta.



Fotografía 8. Desde la ladera noreste que delimita Chipta, en temporada de lluvias desciende bastante cantidad de agua que atraviesa el sector referido, lo que podría contribuir en la saturación e inestabilidad del terreno.



Figura 12. a) Vista de viviendas afectadas por caída de rocas de la ladera suroeste. b y c) Viviendas con paredes agrietadas del sector Chipta.



Figura 13. Vista del derrumbe al suroeste del sector Juprog. En líneas rojas entrecortadas se aprecia el evento antiguo y en líneas continuas el evento reactivado. Se observan cortes de talud que estarían inestabilizando el derrumbe.

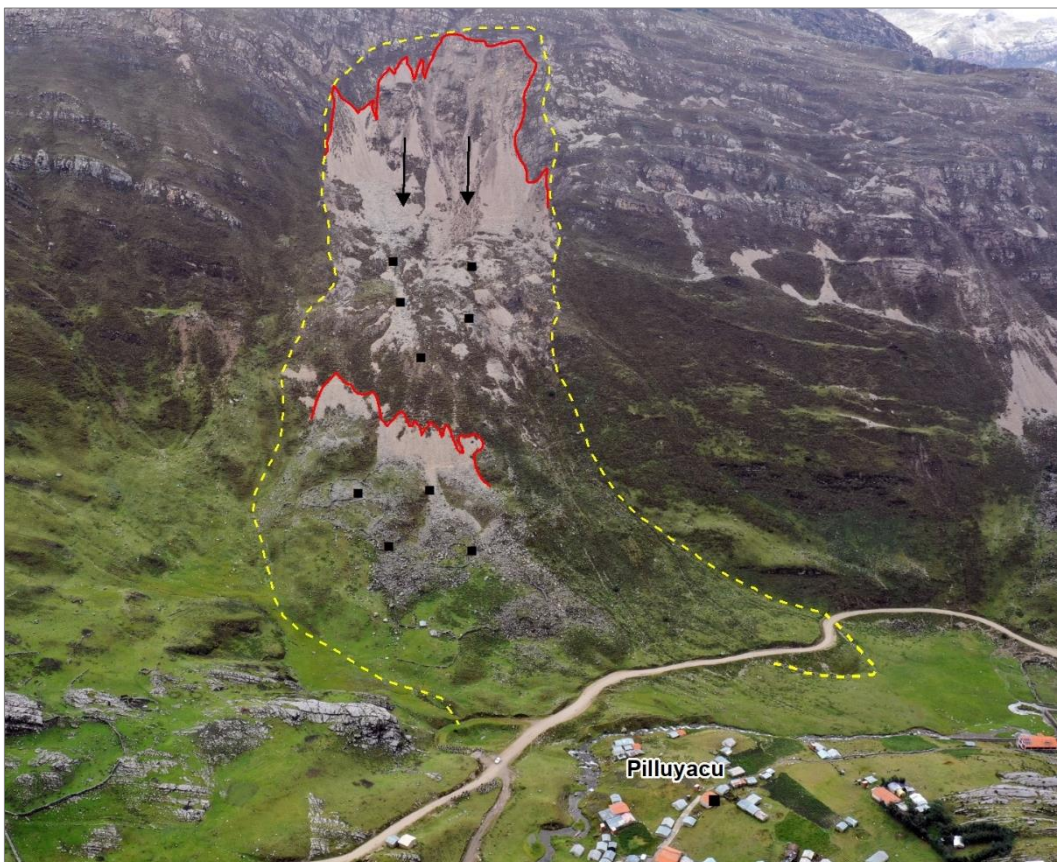


Figura 14. Vista al suroeste del sector Pilluyacu, avalancha de rocas (líneas entrecortadas de color amarillo) y derrumbes reactivados en líneas continuas de color rojo.



Fotografía 9. Sector Pincullo asentado sobre rocas sedimentarias tipo calizas, las cuales están sufriendo procesos de karstificación tipo hundimientos que afectarían las viviendas del sector referido. Así mismo, se observa caída de rocas de la ladera noroeste que limita el sector.



Fotografía 10. Sector Shaguanga asentado sobre valle fluvio-glaciar y calizas de la Formación Jumasha, zona propensa a sufrir hundimientos.

5.2. Factores condicionantes

Se detalla los principales factores que podrían condicionar la ocurrencia de peligros geológicos y otros peligros, así como, las manifestaciones de estos eventos a través de las paredes agrietadas en las viviendas en el caserío San Antonio de Juprog.

5.2.1. Litología del substrato-estructural

La intercalación de areniscas de grano fino a medio, con lutitas y limolitas negras, rojas y verdosas en niveles centimétricos de la Formación Carhuaz, en conjunto, hacen al macizo rocoso incompetente, muy susceptible a la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos, como en el caso del sector Jatun Piruro, asentado sobre esta formación geológica.

Por otro lado, se tienen calizas de la Formación Jumasha, propensas a sufrir hundimientos debido al procesos kársticos que sufren en contacto con agua de lluvia. En los sectores Pilluyacu, Pincullo y Shaguanga se evidenció hundimientos relativamente pequeños que podrían incrementar en dimensión y profundidad, afectando a viviendas de dichos sectores.

En el contexto estructural, por la zona de estudio atraviesa una falla inversa (Ingemmet, 1994), que pone en contacto a las formaciones Carhuaz y Jumasha; según análisis de imágenes satelitales y trabajos de campo esta estructura no tendría afectación en los sectores referidos, por considerarse una falla antigua.

5.2.2. Tipo de suelo (naturaleza del suelo)

Depósitos inestables, sobre el cual se encuentran asentados los sectores de Chipta, Juprog y Palluyacu, el primero compuesto por fragmentos líticos de origen sedimentario, de formas angulosas a subangulosas envueltos en una matriz arenas, limos y arcillas producto de la meteorización de las rocas sedimentarias y removidos por procesos gravitacionales de las laderas que lo circundan.

El depósito fluvioglacial sobre el cual se encuentra asentado el sector Juprog presenta estructura masiva, medianamente consolidada por acomodo de sus constituyentes; material de fácil erosión y remoción por el río ante el incremento de caudal.

5.2.3. Características geotécnicas

Las areniscas cuarzosas de la Formación Carhuaz presentan una resistencia a la compresión simple que varía de 50 - 100 MPa, consideradas como medias, pero en conjunto con lutitas y limolitas, el macizo rocoso baja su resistencia. Del mismo modo, las calizas que van de poco a mediano fracturamiento y moderadamente meteorizadas de la Formación Jumasha, se rompen con más de un golpe utilizando el martillo (picota) asignándole una resistencia media.

5.2.4. Pendiente del terreno

Las pendientes del área de estudio varían de acuerdo a la morfología, se tienen laderas de montaña con pendientes que varían de media (5°-15°) a muy escarpada (45°), facilitando la ocurrencia de movimientos en masa, como lo suscitado en los sectores Jatun Piruro, Chipta, Pillayucu y Pincullo. Así también, se tienen pendientes bajas (1°-5°) que coadyuvan al desarrollo de hundimientos.

5.2.5. Aguas subterráneas

En el sector Chipta se evidenció surgencia de agua que se canaliza por medio de las viviendas del sector referido, saturando y humedeciendo el terreno, lo que podría inestabilizar el terreno.

Así también, se han evidenciado pequeños hundimientos en los sectores Pillayacu, Pincullo y Shaguanga, lo que nos infiere la existencia de agua subterránea que en un futuro podría desarrollar dolinas.

5.3. Factores desencadenantes

5.3.1. Precipitaciones pluviales

Índices altos de pluviosidad (estacional) o regímenes excepcionales. Saturan los suelos y/o rocas, aumentan las presiones del terreno al infiltrarse por discontinuidades, grietas y la sobrecarga debido a su propio peso. Absorción de agua por minerales arcillosos en suelos adhesivos, produciendo saturación de los mismos.

5.3.2. Sismos

Es importante mencionar que la región Áncash se encuentra una zona sísmica alta a muy alta, y específicamente la zona de estudio en zona alta según el Reglamento Nacional de Edificaciones D.S. N° 003-2016-VIVIENDA. Además, en el área de estudio se tiene fallas geológicas que pueden generar sismos de considerable magnitud.

5.4. Factores Antrópicos

5.4.1. Excavaciones y/o voladura

Los pobladores del caserío San Antonio de Juprog, atribuyen a la Unidad Minera Antamina, de ser causante de las rajaduras en sus viviendas, ya que manifiestan que *“la presencia de estas se debe al desarrollo de sus labores mineras (voladuras)”*. Información que debe ser corroborado con un monitoreo en la zona (instalación de geófonos y acelerógrafos)

6. CONCLUSIONES

1. Los sectores de Jatun Piruro y Piruro, se encuentran asentadas sobre arenisca, intercaladas con lutitas y limolitas fracturadas y meteorizadas de la Formación Carhuaz, en conjunto hacen al macizo rocoso incompetente, facilitando la ocurrencia de derrumbes, caída de rocas y deslizamientos. Todos estos procesos están contribuyendo en parte a la formación de agrietamientos en las paredes de las viviendas. Por otro lado, Pillayacu, Pincullo y Shaguanga, se encuentran sobre calizas medianamente fracturadas; sobre este macizo se ha desarrollado hundimientos por karstificación de la roca, con diámetros de hasta 6 m, las cuales pueden incrementar en tamaño y profundidad hasta formar dolinas.
2. En el contexto geomorfológico, se presentan montañas estructurales modeladas en rocas sedimentarias, con pendientes que varían de media (5°-15°) a muy escarpada (45°), facilitando la ocurrencia de movimientos en masa, como lo suscitado en los sectores Jatun Piruro, Chipta, Pillayacu y Pincullo. De manera particular, en las zonas de pendientes bajas (1°-5°), se forman hundimientos.
3. En el área de estudio se han identificado procesos de remoción en masa antiguos, activos en procesos de reactivación, lo cual podría incrementar afectación en las viviendas, tal es así que en:
 - Jatun Piruro: Derrumbes antiguos y pequeños deslizamientos.
 - Chipta: Caída de rocas recientes, derrumbes antiguos y deslizamiento.
 - Ladera noreste de Chaquicocha: Caída de rocas y derrumbes antiguos.
 - Ladera suroeste de Juprog: Derrumbes reactivados.
 - Pillayacu: Hundimientos y derrumbes antiguos de la ladera noroeste.
 - Pincullo: Caída de rocas de la ladera noroeste y hundimientos.
 - Shaguanga: Caída de rocas y hundimientos.
4. Para corroborar si el factor antrópico por voladura de rocas de la Unidad Minera Antamina, contribuye en la aparición de agrietamientos en las viviendas; es necesario la instalación de sensores.
5. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y de geodinámica externa, se determina que los sectores de Jatun Piruro, Chipta, Juprog, Shaguanga y Pillayacu, presentan **Peligro Medio a Alto** por movimientos en masa, tipo deslizamientos, derrumbes y caída de rocas. Del mismo modo los sectores Pillayacu, Pincullo y Shaguanga presentan **Peligro Medio a Alto** a hundimientos.


7. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. Realizar ensayos geofísicos en los sectores de Pillayacu, Pincullo y Shaguanga para evaluar la profundidad de los hundimientos identificados.
2. Reubicar al sector Chipta por encontrarse en zona muy susceptible a la ocurrencia de caída de rocas y derrumbes.
3. Elaborar un estudio de Evaluación de Riesgos (EVAR) para determinar los elementos expuestos en los ocho sectores que conforman el caserío San Antonio de Juprog,
4. A las autoridades se recomienda, difundir a la comunidad en general, sobre la identificación de las zonas de peligro alto en sus jurisdicciones, a fin de hacerles participe con planes de preparación, evacuación y acción ante la ocurrencia de estos eventos, potenciales en magnitud e intensidad de peligrosidad.

ESTRUCTURALES

5. Colocar geófonos y/o acelerógrafos en los sectores y alrededores que conforman el caserío de San Antonio de Juprog, durante la ejecución de voladuras en el tajo abierto de la unidad minera Antamina, para verificar si las vibraciones están afectando las viviendas.



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



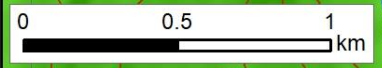
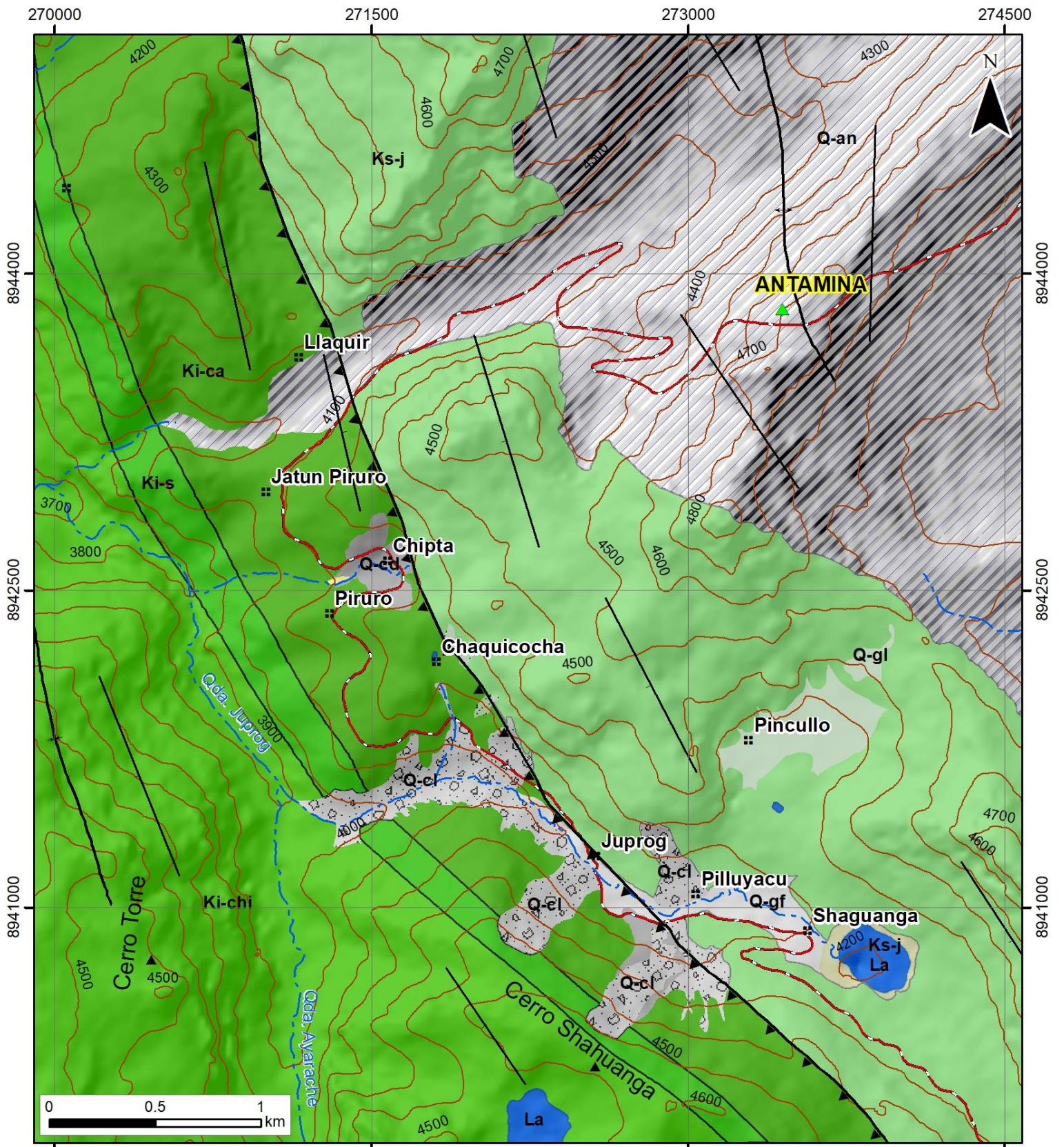
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA:

- Cobbing, E.J.; Sánchez, A.; Martínez, W. & Zárate, H. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. Ingemmet, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 297 p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/199>.
- 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, Transportatió researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- Cobbing, & Sanchez, A. (1996). Memoria descriptiva del cuadrángulo de Recual (20-i).INGEMMET.
- Dentith , M., & Mudge, S. (2014). Geophysics for the mineral exploration Geoscientist. Cambridge University Press: British library.
- Jongmans, D., Demanet, D., Havenith, H., & Hemroulle, P. (1999). Application of 2D electrical and seismic tomography techniques for investigationg landslide sites. European Association of Geoscientists & Engineers, 35-97.
- Peralta, G., Mojica R. (). Características y control de las vibraciones producidas por acción de las voladuras en mina a cielo abierto. Escuela de Ingenieria de Minas, U.P.T.C.
- Redpath, B. (1973). Technical Reporte E-73-4 Seismic refraction exploration for engineering site investigation. U.S Army engineer waterways experiment station explosive excavation research laboratory.

ANEXO 1

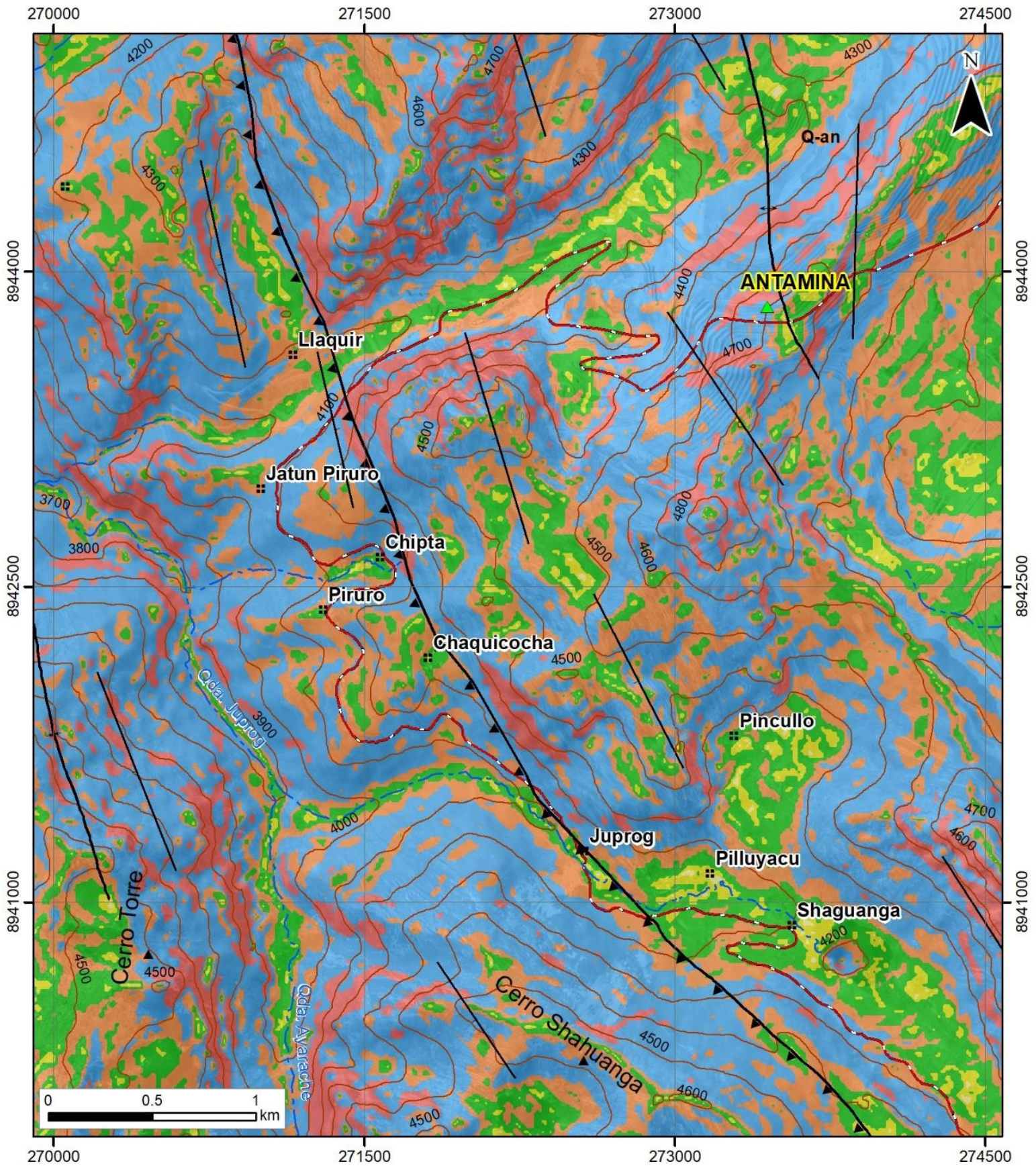
MAPAS DEL CASERIO SAN ANTONIO DE JUPROG



| LEYENDA | |
|---------|---------------------------|
| | Depósito antrópico |
| | Depósito coluvial |
| | Depósito coluvio-deluvial |
| | Depósito fluvioglacial |
| | Depósito glaciar |
| | Formación Jumasha |
| | Formación Carhuaz |
| | Formación Santa |
| | Formación Chimú |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|--------------------------------|
| | Centros poblados |
| | Falla inversa |
| | Rumbo y buzamiento de estratos |
| | Eje de anticlinal |
| | Eje de sinclinal |
| | Ríos y quebrada |
| | Vías de acceso |
| | Curvas de nivel |

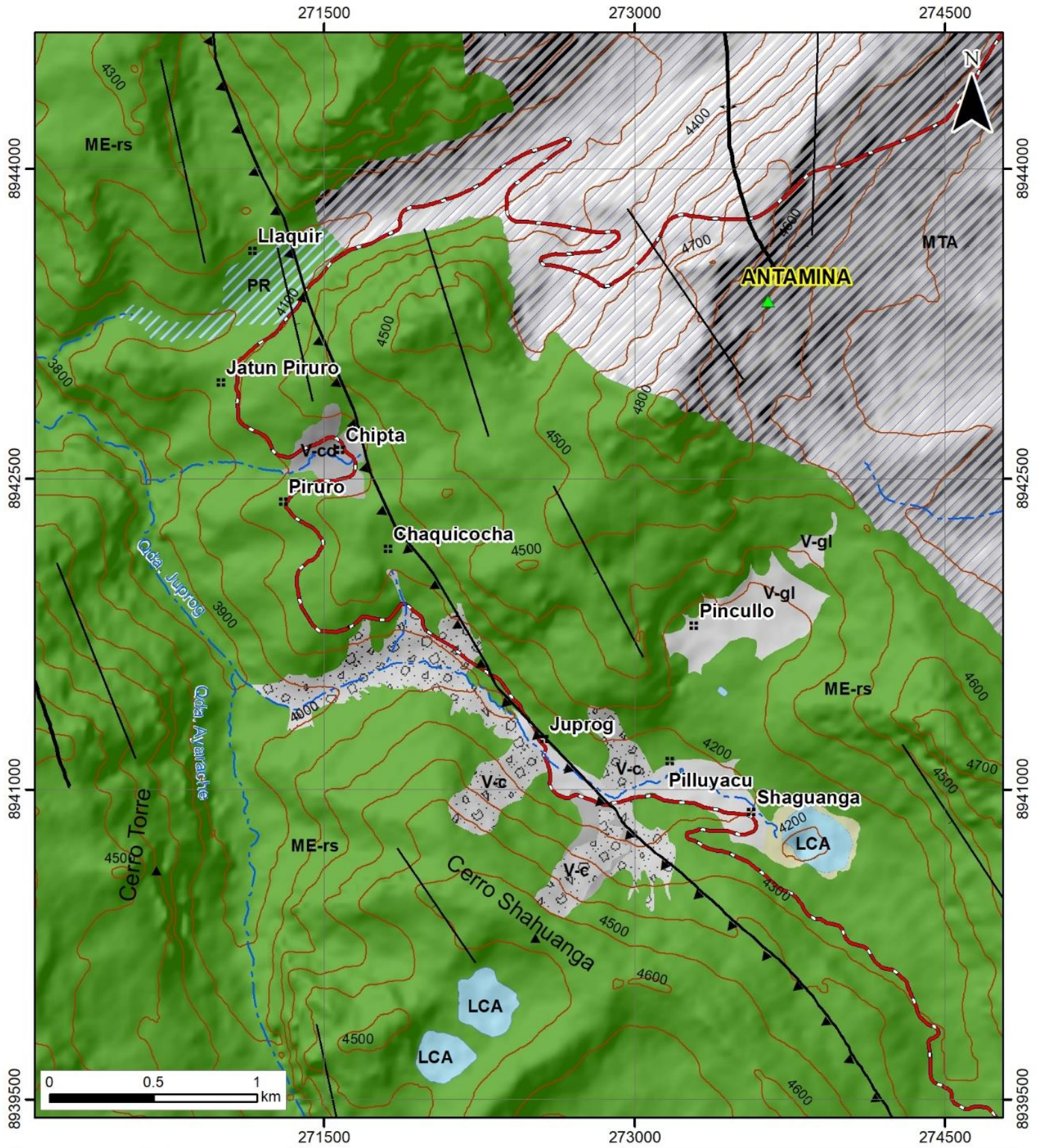
| | | |
|--|--------------------|-----------------------------|
| <p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p> | | |
| ACT 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL | | |
| GEOLOGÍA DE JUPROG | | |
| Escala: | 1/24,000 | MAPA 1 |
| Proyección: UTM Zona 18 Sur | Datum: WGS84 | |
| Versión digital 2023 | Impreso: Mayo 2023 | |



| LEYENDA | |
|---------|---------------------|
| | <1°: Muy baja |
| | 1°-5°: Baja |
| | 5°-15°: Media |
| | 15°-25°: Fuerte |
| | 25°-45°: Muy fuerte |
| | >45°: Abrupta |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|--------------------------------|
| | Centros poblados |
| | Falla inversa |
| | Rumbo y buzamiento de estratos |
| | Eje de anticlinal |
| | Eje de sinclinal |
| | Ríos y quebrada |
| | Vías de acceso |
| | Curvas de nivel |

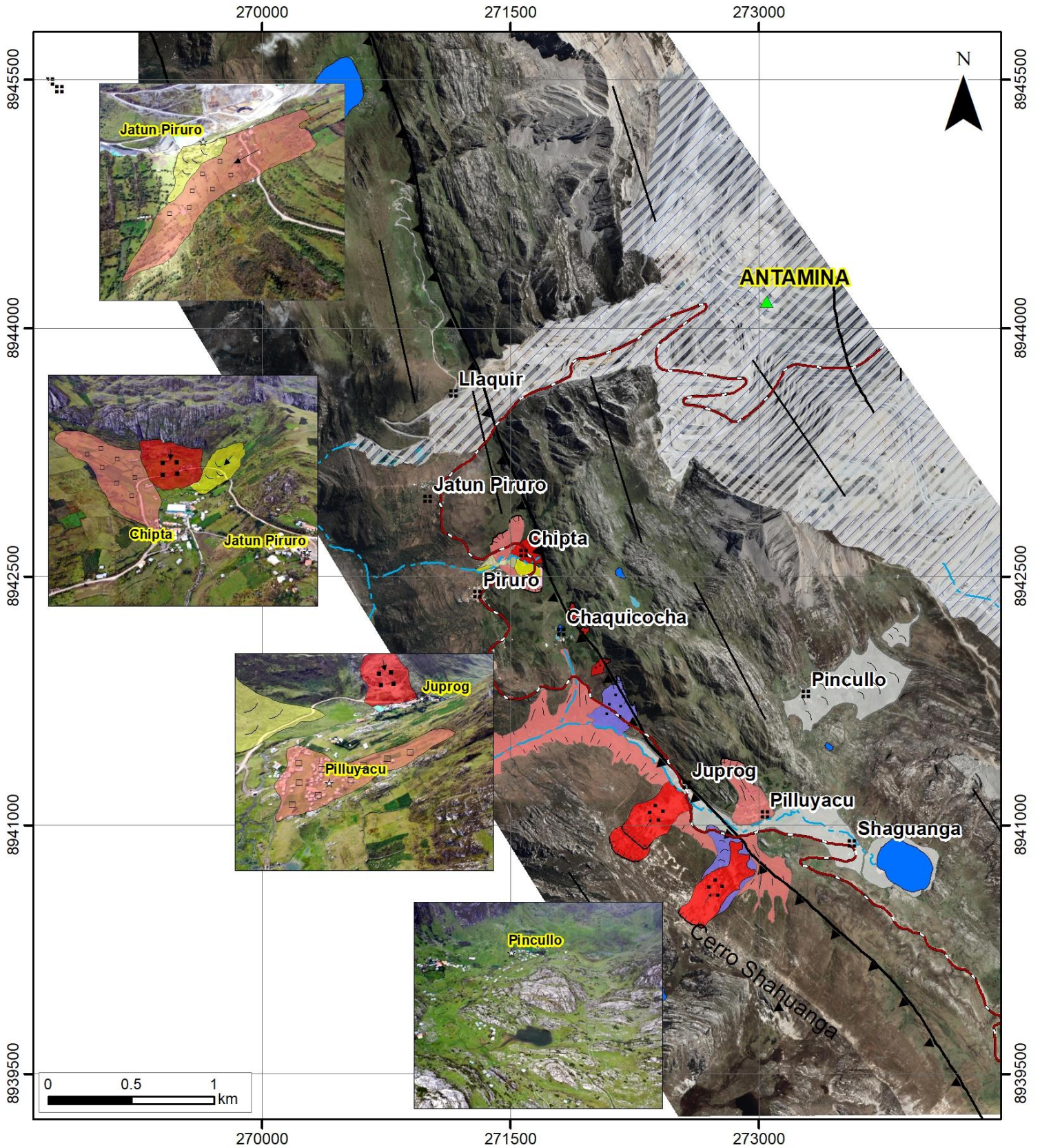
| | | |
|--|---------------------|-----------------------------|
| <p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p> | | |
| ACT 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL | | |
| PENDIENTE DE JUPROG | | |
| Escala: | 1/24,000 | MAPA 2 |
| Proyección: UTM Zona 18 Sur | Datum: WGS84 | |
| Versión digital 2023 | Impreso: Mayo 2023. | |



| LEYENDA | |
|---------|----------------------------|
| | Laguna |
| | Minería tajo abierto |
| | Presa de relave |
| | Terraza fluvioglacial |
| | Terraza lacustre |
| | Valle glaciar |
| | Vertiente coluvial |
| | Vertiente coluvio deluvial |
| | Montaña estructural |


| SIMBOLOGIA | |
|------------|--------------------------------|
| | Centros poblados |
| | Falla inversa |
| | Rumbo y buzamiento de estratos |
| | Eje de anticlinal |
| | Eje de sinclinal |
| | Ríos y quebrada |
| | Vías de acceso |
| | Curvas de nivel |

| | | |
|---|--------------------|-------------------|
| INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO | | |
| DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO | | |
| ACT 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLOGICOS A NIVEL NACIONAL | | |
| GEOMORFOLOGÍA DE JUPROG | | |
| Escala: | 1/24,000 | MAPA 3 |
| Proyección: UTM Zona 18 Sur | Datum: WGS84 | |
| Versión digital 2023 | Impreso: Mayo 2023 | |



| LEYENDA | |
|---|----------------------|
| Peligros geológicos | |
| ■ | Caida de rocas |
| ■ | Derrumbe activo |
| ■ | Derrumbe |
| ■ | Deslizamiento activo |
| ■ | Deslizamiento |
| ■ | Avalancha de rocas |
| Otros peligros | |
| ■ | Hundimiento |

| SIMBOLOGIA | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| ⊠ | Centros poblados |
| — | Vias de acceso |
| ▲ | Falla inversa |
| — | Rumbo y buzamiento de estratos |
| ⊕ | Eje de anticlinal |
| ⊖ | Eje de sinclinal |
| — | Ríos y quebrada |
| ■ | Lagunas |

| | | |
|--|---------------------|---------------|
|  INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO | | |
| ACT 11: EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL | | |
| CARTOGRAFÍA DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE JUPROG | | |
| Escala: | 1/30,000 | MAPA 4 |
| Proyección: | UTM Zona 18 Sur | |
| Datum: | WGS84 | |
| Versión digital 2023 | Impreso: Mayo 2023. | |