

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7413

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR JOTO JAHUANA Y ANEXO SUBNA

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Ayo



AGOSTO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR JOTO JAHUANA Y ANEXO SUBNA

Distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yeny Bety Ccorimanya Chalco

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligros geológicos en el sector Joto Jahuana y anexo Subna. Distrito Ayo, provincia Castilla y departamento Arequipa*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7413, 64 p.

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCION.....	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	5
1.3. Aspectos generales	7
1.3.1. Ubicación	7
1.3.2. Población	7
1.3.3. Accesibilidad	9
1.3.4. Clima.....	9
2. DEFINICIONES	10
3. ASPECTOS GEOLOGICOS.....	13
3.1. Unidades Litoestratigráficas	13
3.1.1. Formación Socosani (Jm-so)	13
3.1.2. Grupo Yura.....	13
3.1.3. Formación Orcopampa (Nm-ta/sr).....	15
3.1.4. Super Unidad Tiabaya (Ks-ti)	16
3.1.5. Grupo Andahua (Flujos andesíticos a traquiadesíticos – Qpl-an-s)	17
3.1.6. Depósitos Coluviales (Qh-co).....	18
3.1.7. Depósitos Coluvio-Deluvial (Qh-co-del).....	19
3.1.8. Depósitos Aluviales (Qh-al).....	20
3.1.9. Depósitos Proluviales (Qh-pl).....	20
4. ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS	23
4.1. Pendientes del terreno	23
4.2. Unidades Geomorfológicas	25
4.2.1. Unidad de montañas	25
4.2.2. Unidad de piedemonte	26
4.2.3. Crioforma glaciar acumulativa	28
4.2.4. Lava.....	28
5. PELIGROS GEOLOGICOS	29
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Joto Jahuana.....	29
5.1.1. Caída de rocas.....	29
5.1.2. Derrumbe.....	30
5.1.3. Avalancha de detritos	30
5.1.4. Flujo de detritos	31
5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa – Anexo Subna	33
5.2.1. Flujo de detritos	34
5.2.2. Derrumbe.....	43

5.2.3. Avalancha de rocas	45
5.2.4. Caída de rocas.....	45
5.3. Factores condicionantes.....	46
5.4. Factores desencadenantes	47
6. CONCLUSIONES	48
7. RECOMENDACIONES	49
8. BIBLIOGRAFIA.....	50
ANEXO 01: MAPAS	51
ANEXO 02: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	60

RESUMEN

El presente informe, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en el sector Joto Jahuana y anexo Subna, perteneciente al distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa. Con este trabajo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno.

El sector evaluado de Joto Jahuana, se encuentra sobre areniscas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas; también se tienen lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y fragmentadas. Este material sumado a las pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$) que presenta el terreno, genera caída de rocas y avalancha de detritos, que afecta al canal de riego del sector Joto Jahuana. Por lo mencionado se cataloga como de **Peligro Alto** para la infraestructura del canal de riego del sector Joto Jahuana.

El anexo de Subna se encuentra sobre depósitos proluviales compuestos por bloques con tamaños máximos de hasta 1.5 m y gravas dentro de una matriz areno limoso. Los materiales del depósito no tienen ninguna selección, es decir, son una mezcla heterogénea de fragmentos de roca de diferentes tamaños y formas (angulosas a subredondeadas), que provienen de brechas volcánicas, tobas, granitos, tonalitas y areniscas.

Las lluvias excepcionales del 02 de febrero de 1967 detonaron un flujo de detritos (huaico), se activó la quebrada Grande, el evento afectó gran parte de viviendas y sepultó otras del anexo Subna. El flujo trajo consigo bloques de roca de hasta 4.5m, que se evidencia actualmente en el frontis de la iglesia de tal lugar.

En 2016 y 2020, se desarrollaron dos flujos de detritos en las quebradas Grande y Agua Grande, respectivamente. El primero llegó al anexo de Subna, mientras que el segundo sepultó el reservorio Agua Grande, que se utiliza para el riego. Según los pobladores, llovió en toda la microcuenca.

Por las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, este lugar se considera de **Peligro Alto a Muy Alto** a la ocurrencia de flujo de detritos.

Finalmente, se brinda recomendaciones importantes, que las autoridades competentes tomadores de decisiones pongan en práctica en las áreas evaluadas con la finalidad de minimizar las ocurrencias de daños que pueden ocasionar los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en los sectores.

1. INTRODUCCION

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 (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Ayo, mediante Oficio N° 069-2023-MDA-AYO-A; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos, de movimientos en masa, tipo flujo de detritos.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Bety Ccorimanya Challco y Yhon Soncco Calsina, para que realicen la evaluación de peligros geológicos en el Sector Joto Jahuana y Anexo Subna, la cual se llevó a cabo el 26 y 27 de abril 2023. Para los trabajos de campo se realizaron coordinaciones con representantes de la Unidad de Defensa Civil de la Municipalidad Distrital Ayo y representantes del anexo Subna.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de la información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fotografías a nivel de terreno, levantamiento fotogramétrico con dron, con el fin de observar mejor el alcance del evento), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realiza la redacción del informe técnico.

Este documento técnico se pone en consideración de la Municipalidad Distrital Ayo, Gobierno Regional Arequipa y entidades encargadas de la Gestión del Riesgo de Desastres, donde se proporcionan resultados de la evaluación y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastre, a fin de que sea un instrumento para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que ocurren en el sector Joto Jahuana y anexo Subna del distrito de Ayo.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros de movimientos en masa.
- c) Proponer alternativas de prevención y mitigación ante los peligros geológicos identificados en trabajo de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional, que involucra la zona de evaluación, tenemos:

- INGEMMET. Boletín N° 46, Serie A, Hojas 32-r, 31-r : Carta Geológica Nacional “Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa a escala 1:100 000” (Caldas Vidal, Julio, 1993). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde en gran parte a formaciones del Grupo Yura.
- Zavala, B.; Vílchez, M. & Rosado, M., (2013). “Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Arequipa”. En Foro

Internacional Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013. Tipifica los movimientos en masa distribuidos en la cuenca, en la subcuenca Andahua/Orcopampa, identifica eventos importantes como el aluvión en el río Ayo, También menciona que las márgenes de estos valles presentan acumulaciones asociadas a flujos o avalanchas de detritos, destacando Jello-Sucna y Ayo-Acho.

De acuerdo a la susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Colca, el Cerro Cotocahuana (Ayo) se encuentra en un nivel de susceptibilidad muy alta, cuyas condiciones del terreno son muy favorables para generar movimientos en masa (MM.). Estos se concentran donde ocurrieron deslizamientos (DL) en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos al modificar sus taludes.

Los autores presentan el mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa (SMM) a escala 1:50 000, donde el área de estudio se localiza en zonas de susceptibilidad baja, alta y muy alta (Figura 1).

SMM se entiende 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.

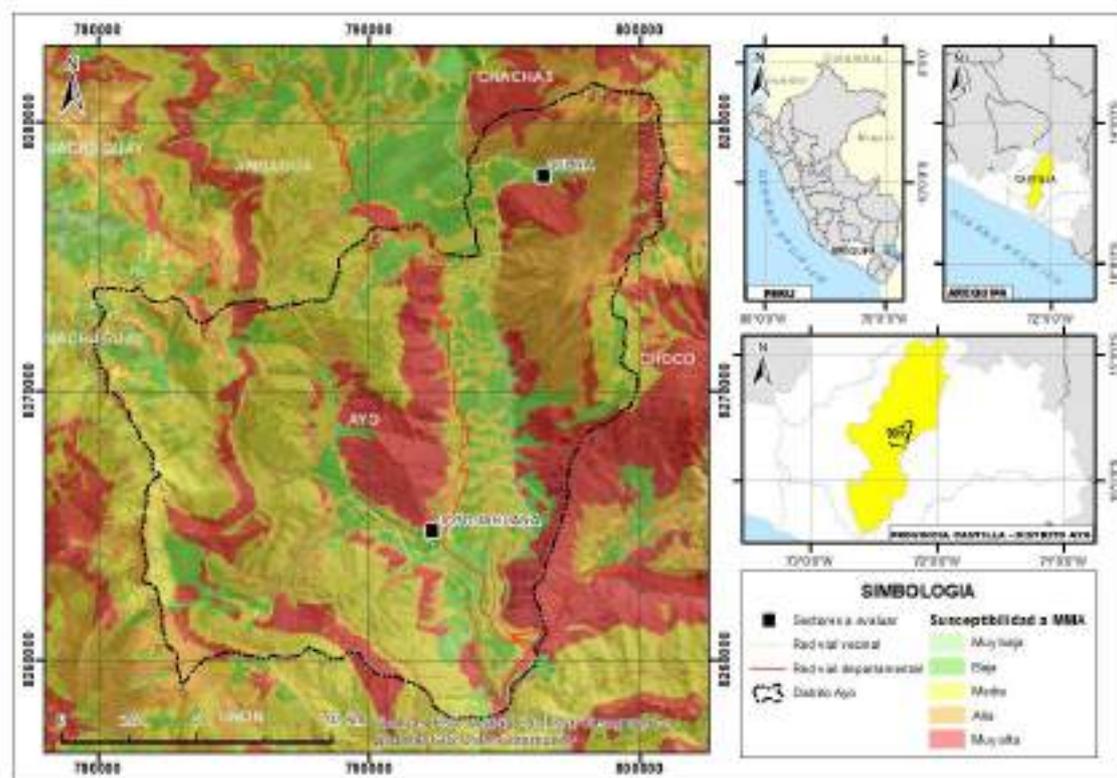


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a los movimientos en masa. **Fuente:** INGEMMET - Artículo “Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Arequipa” (Zavala, B.; Vílchez, M. & Rosado, M., 2013).

- INGEMMET. Boletín N° 81, Serie C : “Peligro geológico en la región Arequipa a escala 1:500 000” (Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K., 2021). Uno de los productos de este trabajo es el mapa de SMM, donde los sectores de Joto Jahuana y anexo Subna, se encuentran en susceptibilidad alta a muy alta a los movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El sector Joto Jahuana y anexo Subna, se encuentran ubicados en el distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa (Figura 2). En la tabla 1, se muestra las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Tabla 1. Coordenadas de ubicación de los sectores evaluados.

Sectores	UTM – WGS84 – Zona 18S		Geográficas	
	X - Este	Y - Sur	Latitud	Longitud
Sector Joto Jahuana	792368.65 m E	8264779.13 m S	15°40'18.93" S	72°16'21.58" W
Anexo Sucna	796430.91m E	8277998.54 m S	15°33'7.65" S	72°14'11.03" W

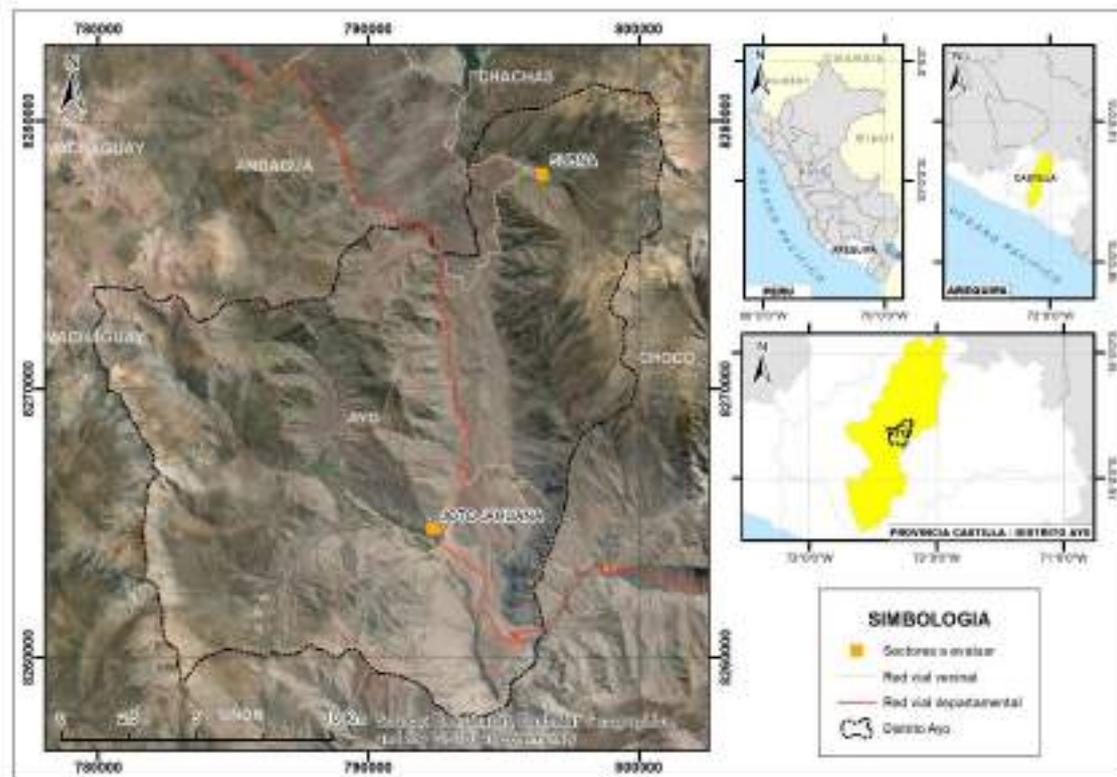


Figura 2. Ubicación del área de evaluación.

1.3.2. Población

De acuerdo con el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el distrito Ayo cuenta con una población total de 242 habitantes entre hombres (136) y mujeres (106) distribuidos en 204 viviendas particulares. De estas, 195 viviendas se encuentran ocupadas y 9 desocupadas. (Figura 3).

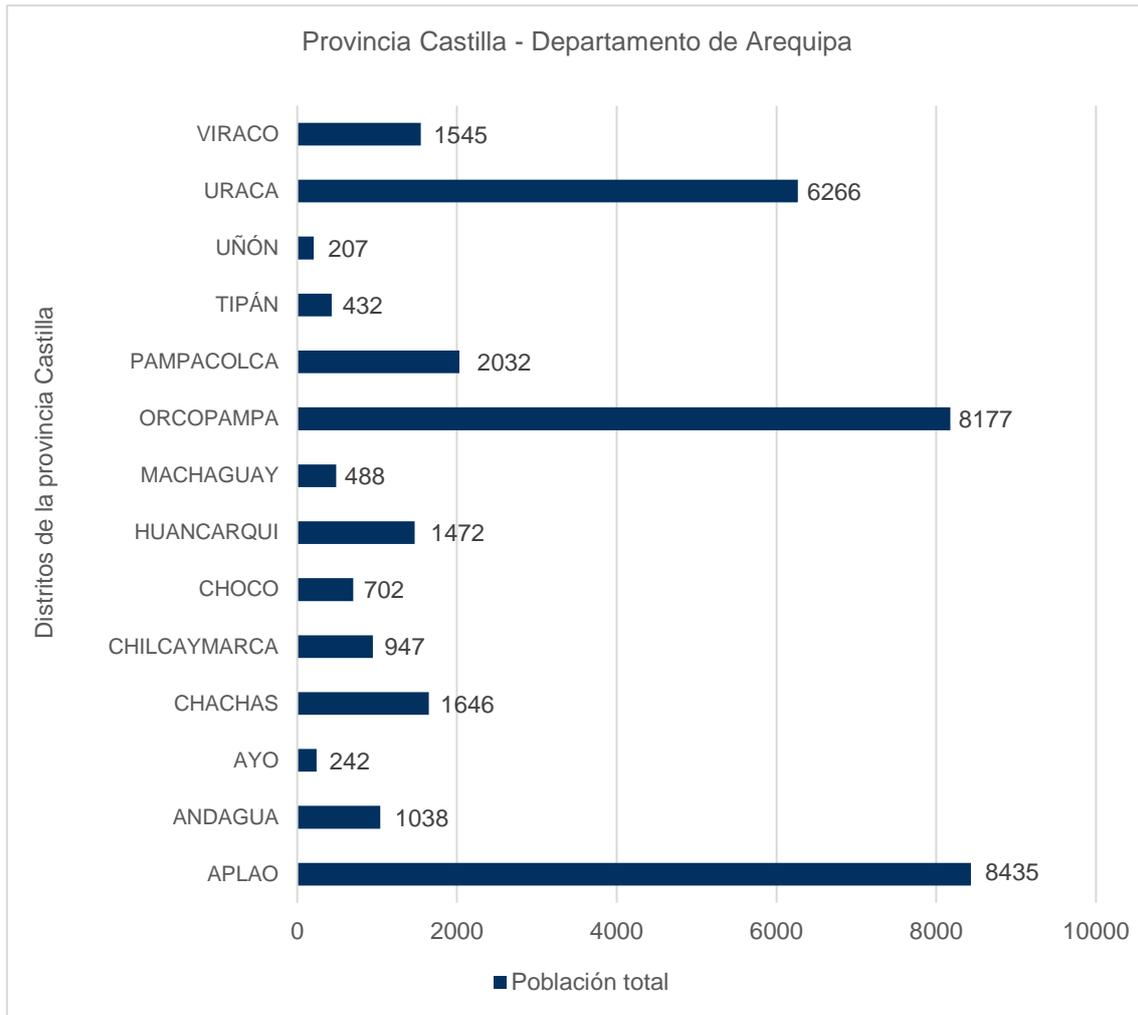


Figura 3. Población total de los distritos de la provincia Castilla, departamento Arequipa. Muestra que Ayo es el segundo distrito con menos población.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2017.

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el centro poblado de Subna cuenta con una población total de 31 habitantes entre hombres (15) y mujeres (16) distribuidos en 13 viviendas particulares, todas ocupadas. (Figura 4).

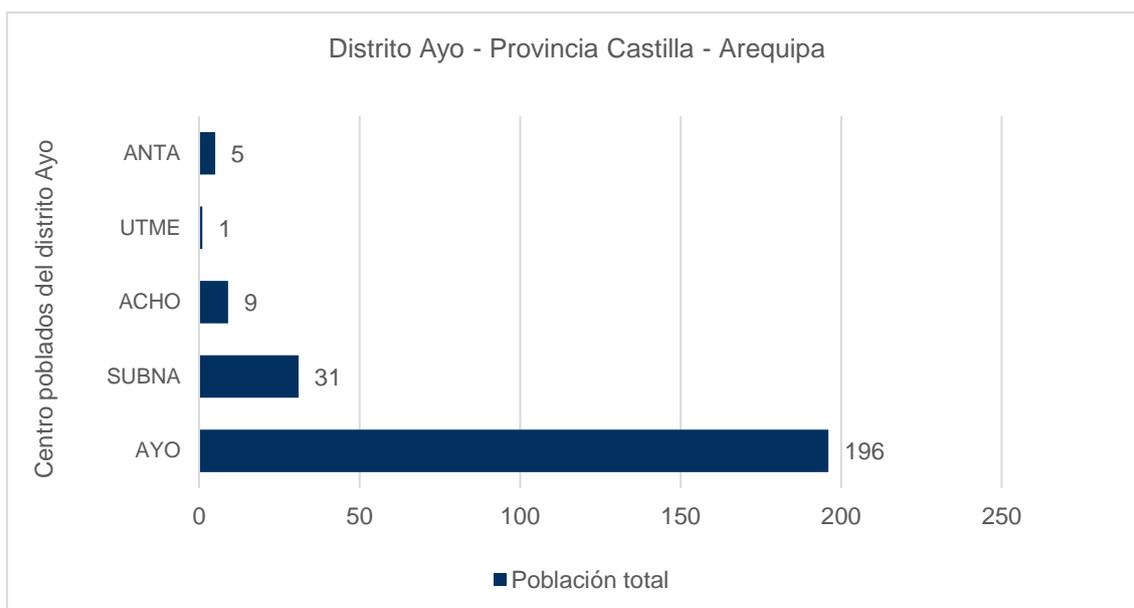


Figura 4. Población total de los centros poblados del distrito de Ayo, provincia Castilla - Arequipa. Se puede apreciar que Subna es el segundo centro poblado con mayor población.

Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2017.

1.3.3. Accesibilidad

Para acceder al sector Joto Jahuana y anexo Subna del distrito de Ayo desde el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet OVI-Arequipa, se realizó la ruta mencionada en el cuadro 1:

Cuadro 1. Rutas de accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Ayo (sector Joto Jahuana)	Carretera asfaltada / trocha carrozable	360	7 h 10 min
Arequipa – Ayo (Anexo Subna)	Carretera asfaltada / trocha carrozable	354	7 h 55 min

1.3.4. Clima

El sector Joto Jahuana y anexo Subna, se encuentran dentro de dos tipos de clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, templado – E(d)B', con temperaturas máximas entre 19 °C a 31 °C y mínimas entre 3 °C y 21 °C; y semiárido con invierno y primavera secos, templado - D(i,p)B', con temperaturas máximas entre 19 °C a 21 °C y mínimas entre 3 °C a 9 °C.

La cantidad de lluvia según datos pluviométricos de la estación meteorológica convencional Ayo (SENAMHI) en el período 1963 – 2013, registra una precipitación máxima de hasta 30mm en diciembre del año 1967 (Figura 5), enfatizando que la lluvia más intensa ocurre entre diciembre y marzo.

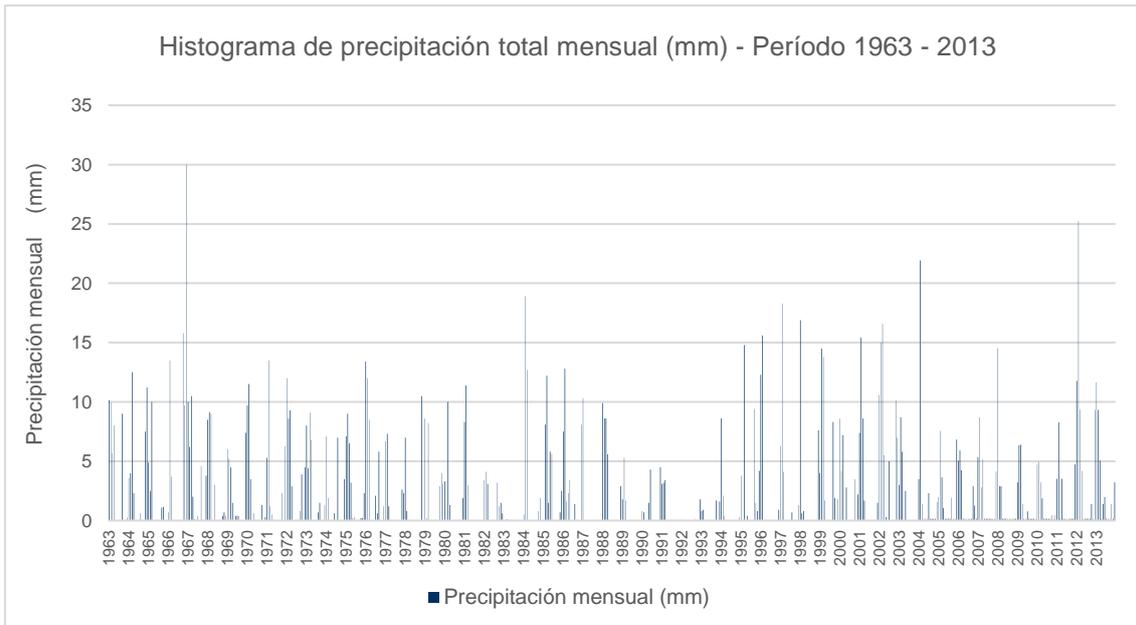


Figura 5. Histograma de precipitaciones totales mensuales en mm, estación Ayo: 1963 – 2013. Permite examinar con qué frecuencia se producen anomalías en la lluvia.
Fuente: Estación meteorológica convencional Ayo - SENAMHI.

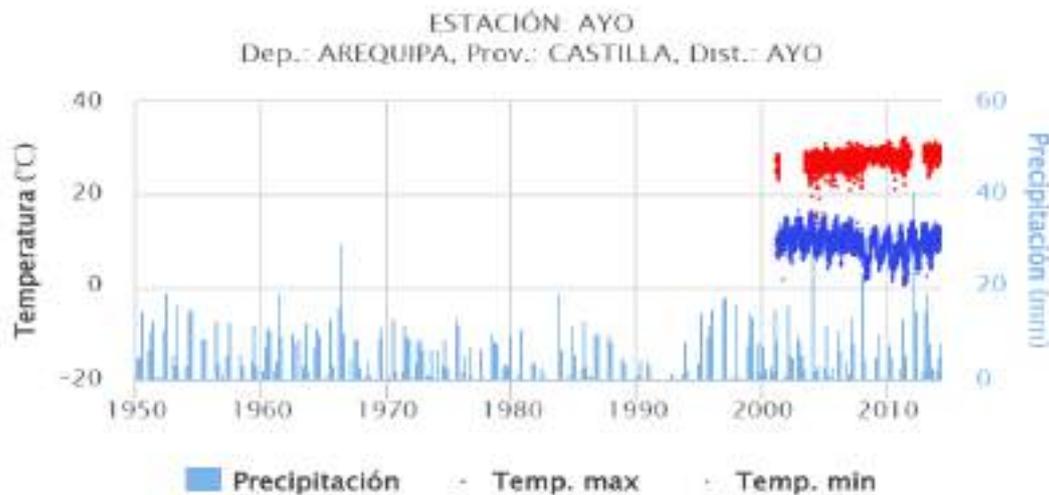


Figura 6. Histograma de precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas diarias – Estación Ayo.
Fuente: Estación meteorológica convencional Ayo – SENAMHI.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, tomadores de decisiones y personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos; para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres.

Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde

participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

Arcilla: Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad. En este tipo de suelos es muy importante el efecto del agua sobre su comportamiento geomecánico (2) Tamaño de partículas minerales menores a 2 micras (0,002 mm).

Arena: Suelo para ingeniería con tamaño de granos entre 0,075 mm y 4,75 mm y por lo cual son visibles a simple vista. Estos suelos se caracterizan por no presentar plasticidad ni cohesión. Entre las propiedades importantes de estos suelos que influyen en su comportamiento geomecánico, están la distribución granulométrica, la densidad y la forma de los granos.

Avalancha de detritos: Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundo, muy rápido a extremadamente rápido. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma el carácter de tipo flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que estos movimientos presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso.

Caída: Desprendimiento. Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo.

Coluvial: Forma de terreno no material originado por la acción de la gravedad.

Condicionante: Contribuyente, se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

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.

Deslizamientos: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla. 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).

Detonante: Disparador, desencadenante, gatillante. 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 y la sobrecarga de una ladera.

Erosión: Parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste en el arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glacial, marina y pluvial. Por su aporte, de acuerdo con las formas dejadas en el terreno afectado se clasifica como erosión en surcos, erosión en cárcavas y erosión laminar.

Flujo: Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea deslizamiento o una caída. Estos pueden ser canalizados (flujos de detritos o huaicos) y no canalizados (avalanchas).

Flujo de detritos (huaico): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

Formación geológica. Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

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

Grava: Grano de un suelo cuyo tamaño o diámetro medio está entre 2,0 mm (o 4,76 mm) a 150 mm.

Inactivo: Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la masa de suelo o roca actualmente no presenta movimiento, o que no presenta evidencias de movimientos en el último ciclo estacional.

Latente: Movimiento en masa actualmente inactivo, pero en donde las causas o factores contribuyentes aún permanecen.

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.

Movimientos en masa: Son procesos que incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo, de una masa de rocas o suelos por efectos de la gravedad. En el territorio peruano, los tipos más frecuentes corresponden a caídas, deslizamientos, flujos, reptación de suelos, entre otros.

Peligro o amenaza geológica: Es un proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Sustrato rocoso: Basamento rocoso. Término empleado para referirse en forma general, a la parte de la corteza terrestre que se encuentra por debajo de los depósitos cuaternarios.

3. ASPECTOS GEOLOGICOS

Se ha tomado como base el mapa geológico del cuadrángulo de Huambo y Orcopampa, Hojas 32-r, 31-r, a escala 1:100,000 (Caldas Vidal, Julio, 1993).

De igual manera, esta información se complementó con trabajos de interpretación de imágenes de satélite, vuelos de dron y observaciones de campo.

3.1. Unidades Litoestratigráficas

Se tiene la Formación. Socosani y el Grupo Yura, Formación Orcopampa, y la Super Unidad Tiabaya. Entre los depósitos cuaternarios se tiene el Grupo Andahua (Lavas andesítico a traquiandesítico), coluvial, coluviodeluvial, aluvial y proluvial (Mapas 01 y 05 del Anexo 01).

3.1.1. Formación Socosani (Jm-so)

Unidad calcárea de plataforma cuya batimetría evoluciona a medios relativamente profundos y luego rápidamente a depósitos carbonatados someros que tienen grietas de desecación.

Está compuesta por calizas, areniscas, lutitas y cuarcitas. En el lado este de la microcuenca Subna se observan calizas ligeramente meteorizadas y medianamente fracturadas. Estas características favorecieron la generación de avalancha de detritos.

3.1.2. Grupo Yura

3.1.2.1. Formación Puente (Jm-pu)

Está compuesta por sedimentos turbidíticos y depósitos provenientes de prodelta. Está conformada por areniscas grises y pardas intercaladas con lutitas y calizas margosas. La Formación Puente es parte inferior del Grupo Yura.

En la montaña Joto Jahuana, afloran areniscas pardas de tonos amarillentos encontrándose moderadamente meteorizadas y muy fracturadas (Figura 7); además se tienen lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y fragmentadas (Figura 8), generando caída de rocas y avalancha de detritos.

Por otro lado, esta formación también se observa en la microcuenca de Subna, en las montañas noroeste y sur, se observan areniscas grises con tintes verduscos, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, se forman avalancha de detritos.



Figura 7. Sustrato rocoso de la Formación Puente – Sector Joto Jahuana. Muestra afloramientos de areniscas pardas de tonos amarillentos que están moderadamente meteorizadas y muy fracturadas (con espaciamentos entre 5 a 30 cm).



Figura 8. Sustrato rocoso de la Formación Puente – Sector Joto Jahuana. Muestra afloramientos de lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y fragmentadas (con espaciamentos menores a 5 cm). Estas se muestran astillosas y se separan lascas con facilidad.



Figura 9. Sustrato rocoso de la Formación Puente – Anexo Subna. Se tienen areniscas grises, se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas (espaciamiento entre 0.3 a 1 m).

3.1.3. Formación Orcopampa (Nm-ta/sr)

Está compuesta por rocas volcánicas y sedimentarias que se depositaron durante el Paleógeno y Neógeno. Las volcánicas son flujos piroclásticos de cenizas y pómez poco soldadas, color gris blanquecino.

Las tobas se observan en las cumbres del cerro Jonta Jota (Figura 10) y Hatun Pasto del lado este de la microcuenca Subna, se encuentran altamente meteorizadas y medianamente fracturadas.



Figura 10. Muestra afloramientos de tobas en las cumbres del cerro Jonta Jota, al este de la microcuenca Subna.

3.1.4. Super Unidad Tiabaya (Ks-ti)

La Super Unidad Tiabaya es la última secuencia de intrusión del Batolito de la Costa y tiene una edad de intrusión de 78-65 Ma. Está compuesta por un grupo de rocas que varían entre dioritas, tonalitas, granitos, granodioritas y monzogranitos.

En la microcuenca de Subna, se encuentran en el lado norte y noreste de las montañas. Estos afloramientos se encuentran en los cerros Torrecilla (Figura 11), Ticlla Huytani y Agua Grande. Las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.



Figura 11. Muestra granito y tonalita en el cerro Torrecilla, al norte y noreste de la microcuenca Subna. Estas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

3.1.5. Grupo Andahua (Lavas andesíticas a traquiadesíticas – Qpl-an-s)

En el Cuaternario reciente se registró en la zona una nueva etapa de desarrollo lávico clastolítico con formación de los conos volcánicos integrantes del Grupo Andahua debido a una tensión regional.

Los depósitos son coladas de lavas andesíticas a traquiandesíticas.

Los flujos andesíticos observados al oeste de la microcuenca de Subna vienen del valle de los volcanes, denominados Chilcayoc, Jechapita y Chilcayoc Grande (Figuras 12 y 13).



Figura 12. Flujos andesíticos del valle de los volcanes Andahuay, vista hacia el noroeste del anexo Subna.



Figura 13. Vista oeste de la microcuenca de Subna en dirección al valle de los volcanes. Se aparecían flujos de lava.

3.1.6. Depósitos Coluviales (Qh-co)

En el sector de Joto Jahuana, estos depósitos se encuentran en la vertiente de la montaña del mismo nombre, están compuestos por fragmentos de rocas angulosas producto de caída de rocas debido a laderas con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$).

En el anexo de Subna, estos depósitos se observan como abanicos de piedemonte, son depósitos no consolidados. Se aprecian como caídas de rocas, avalancha de detritos y derrumbes. Están compuestos por fragmentos de rocas angulosas con escasa matriz areno limoso (Figura 14).

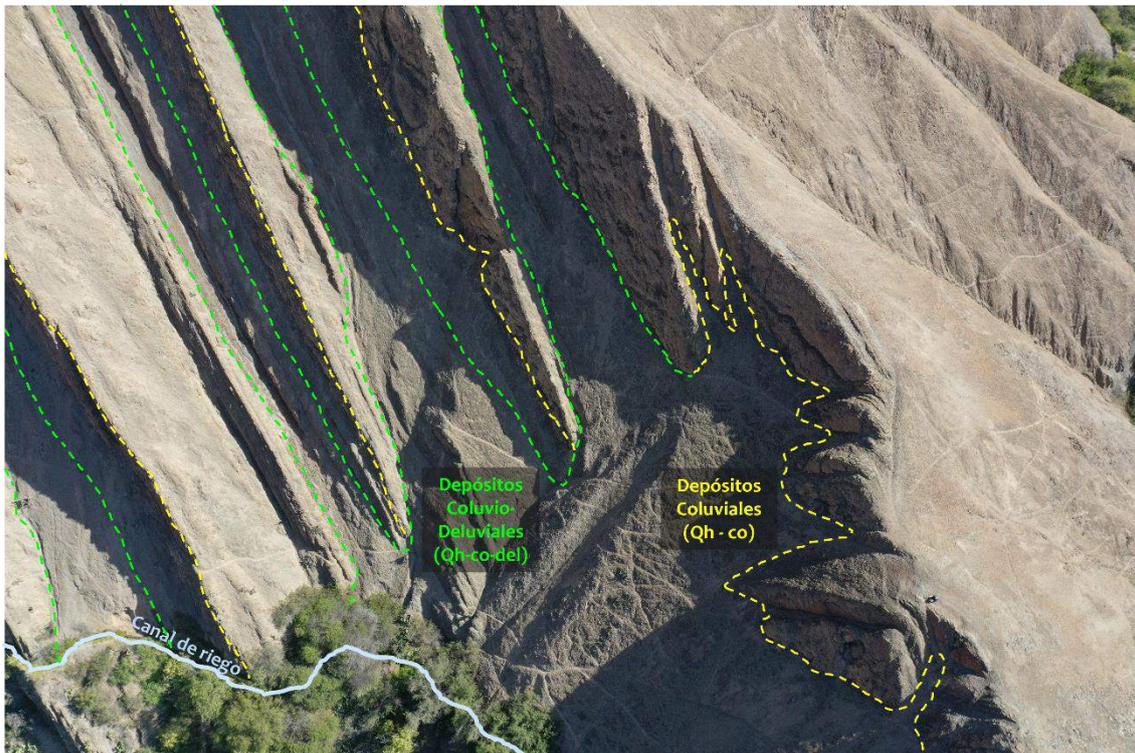


Figura 14. Depósitos coluviales y coluvio-deluviales en las vertientes del cerro Joto Jahuana.

3.1.7. Depósitos Coluvio-Deluvial (Qh-co-del)

Estos depósitos en el sector Joto Jahuana se observan en las laderas del cerro Joto Jahuana entre los afloramientos rocosos a manera de avalancha de detritos, resultado de la interacción flujo gravitacional. Están compuestos por fragmentos de rocas angulosas producto de avalancha de detritos, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 0.3 metros, gravas con escasa matriz limo arenoso (Figura 14).

En el Anexo Subna, estos depósitos se encuentran en las laderas provenientes de las cumbres altas de la microcuenca Subna. Durante los periodos de precipitaciones pluviales, estos son transportados por la interacción flujo gravitacional. Se observan en la cima de los cerros Hatun Pasto y Jonta Jota (Figura 15).

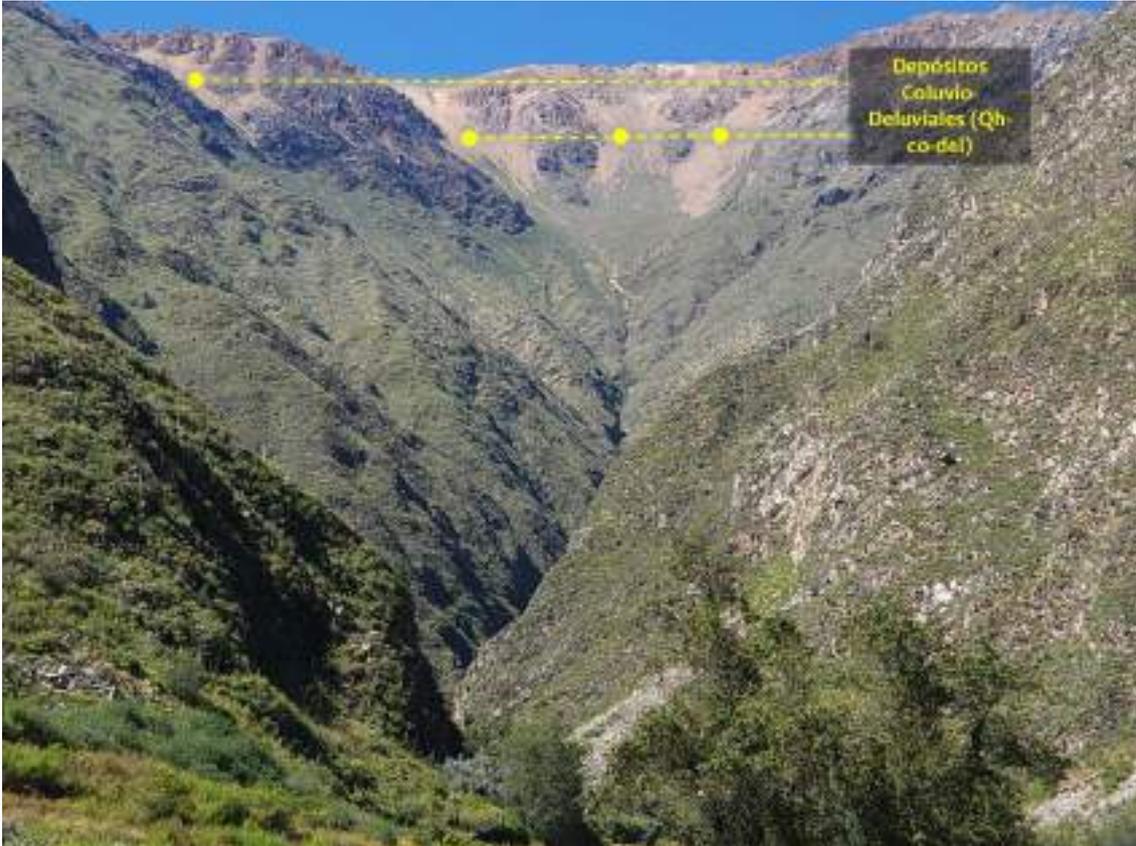


Figura 15. Depósitos Coluvio - deluviales observados en las cumbres altas de la microcuenca Subna. Cima del cerro Jonta Jota.

3.1.8. Depósitos Aluviales (Qh-al)

Estos depósitos se encuentran en la vertiente glaciofluvial de la microcuenca Subna y en la margen izquierda de quebrada Grande sobre la cual se desarrolla parte de la zona agrícola del anexo Subna. Están compuestos por fragmentos de roca, arenas y matriz areno limoso poco consolidados que fueron transportados por acción del agua de las quebradas Agua Grande y Agua Chica.

3.1.9. Depósitos Proluviales (Qh-pl)

Sobre los depósitos proluviales se encuentra el sector de Joto Jahuana, además se tienen actividades agrícolas.

Estos depósitos son poco consolidados y provienen de flujos de detritos (huaicos). Están conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 0.6 m, gravas en matriz areno limo-arcillosa.

Los depósitos se caracterizan por estar poco compactos, lo que permite la infiltración del agua. De esta manera, los terrenos son fácilmente saturados y susceptibles a movimientos en masa.

En las partes bajas de las laderas (Figura 16), se tienen depósitos proluviales conformados por bloques (35%), gravas (50%) y una matriz areno limo-arcillosa (15%). Los depósitos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de diferentes tamaños y de formas angulosas a subredondeados.

En la microcuenca de Subna, los depósitos proluviales no están consolidados y están conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1.5 m, gravas, dentro de una matriz areno limoso (Figura 17). Este depósito se caracteriza por estar poco compacto, lo que permite la infiltración del agua. De esta manera, los terrenos son fácilmente saturados y susceptibles a los movimientos en masa. Los elementos de estos depósitos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de diferentes tamaños y formas (angulosas a subredondeadas), los cuales van desde bloques (50 %), gravas (35 %), dentro de una escasa matriz areno limoso (15 %).

Estos depósitos también se pueden observar en los cauces de las quebradas Torrecilla, Grande y Agua Grande. Los bloques tienen tamaños máximos de 0.4 m, gravas y escasa matriz areno limosa en la zona media a baja de la microcuenca (Figura 18). Estos materiales están siendo extraídos como canteras.



Figura 16. Se muestra los depósitos proluviales que se encuentran en el cerro Joto Jahuana, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 0.6 m, gravas y una matriz areno limo- arcillosa.

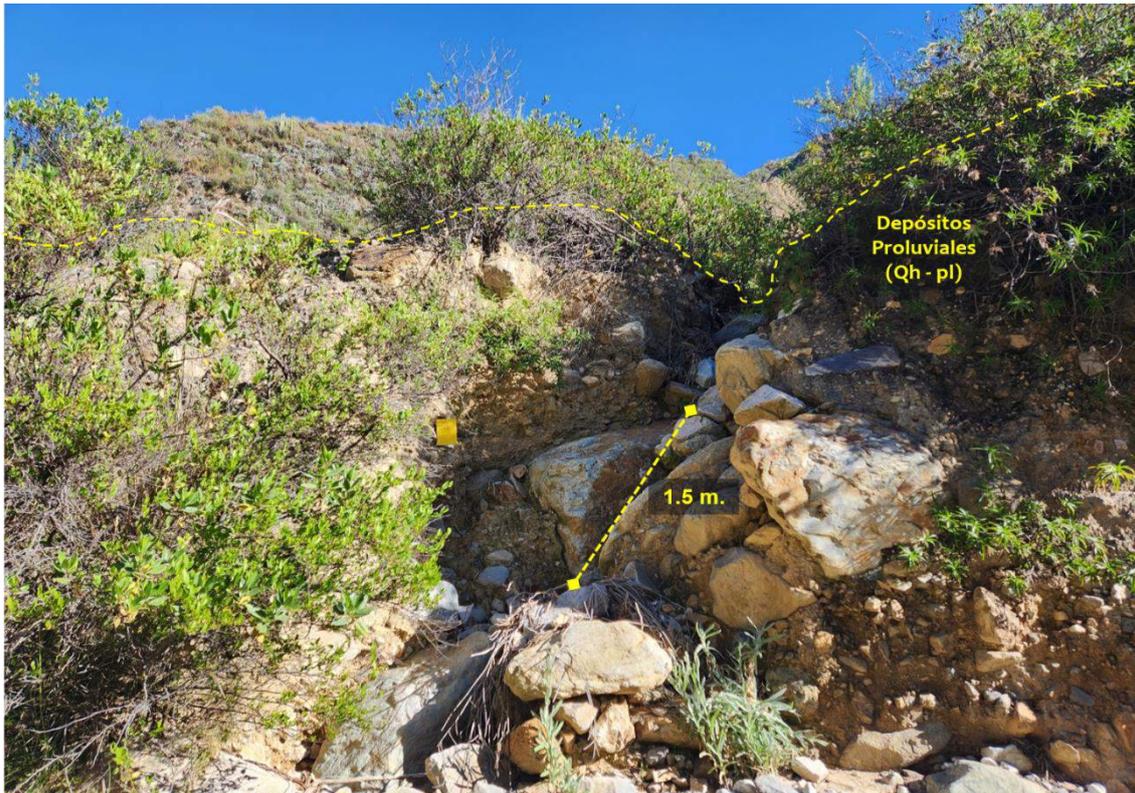


Figura 17. Se muestra los depósitos proluviales que se encuentran en la desembocadura de la quebrada Torrecilla hacia la quebrada Grande de la microcuenca Subna, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1.5 m, gravas, dentro de una matriz areno limoso.



Figura 18. Se muestra los depósitos proluviales en el cauce temporal de agua localmente denominada quebrada Grande, conformado por bloques de tamaños máximos de 0.4 m., grava y escasa matriz areno limosa.

4. ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS

4.1. Pendientes del terreno

La pendiente es un factor importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, ya que determina la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002). Esto se debe a que la pendiente es uno de los principales factores dinámicos y particulares de los movimientos en masa (Tabla 2). Además, la pendiente es un factor condicionante en la evaluación de procesos de movimientos en masa.

Sector Joto Jahuana: Las laderas de la montaña tienen pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y $>45^\circ$), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y se genere el arrastre del material suelto disponible en sus laderas (Figuras 19 y 20). Por otro lado, la zona baja del piedemonte sobre la cual se asienta el centro poblado de Ayo se conforma de pendientes que varían de 1° a 15° (pendientes de inclinación suave a moderado).



Figura 19. Se muestra el terreno con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$) del cerro Joto Jahuana.



Figura 20. La figura muestra las pendientes del terreno muy escarpadas ($>45^\circ$) del cerro Joto Jahuana.

Anexo Subna: Las laderas de la montaña de la microcuenca presentan pendientes mayores a 40° (pendientes muy fuertes a muy escarpados), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas (Figura 21). Por otro lado, la zona media a baja presenta pendientes hasta los 15° (pendientes llanas a moderadas), y es sobre esta zona que se asienta el anexo de Subna.



Figura 21. Se muestra el terreno con pendientes muy fuertes ($> 40^\circ$) en el cerro Torrecilla, Ticlla Huytani y Jonta Jota. A la vez, se puede observar la pendiente de la vertiente glacial donde se ubica el anexo Subna, de inclinación suave a moderado ($1^\circ - 15^\circ$). Vista este de la microcuenca Subna.

En los Mapas 02 y 06 del Anexo 01, representan la pendiente del terreno. Estos fueron elaborados en base a información de un modelo de elevación digital (DEM) de 5.0 m de resolución generado a partir de descarga de archivos terrain (teselas de terreno de 14 niveles de resolución espacial) proporcionados desde la plataforma Land Viewer. Además, estos mapas se apoyan en la fotogrametría con dron, donde se obtuvieron modelos digitales de elevación (DEM) de 48 cm de resolución para Joto Jahuana y 18cm para Subna.

Tabla 2. Rango de pendientes del terreno.

Rango	Pendiente
<1°	Llano
1° - 5°	Inclinación suave
5° - 15°	Moderado
15° - 25°	Fuerte
25° - 45°	Muy fuerte
>45°	Muy escarpado

4.2. Unidades Geomorfológicas

Para la caracterización y determinación de unidades geomorfológicas (Mapas 03 y 07 del Anexo 01), se consideraron criterios de relieve como el resultado de la interacción de fuerzas, agentes y procesos endógenos (sismicidad y volcanismo) y exógenos (movimientos en masa), factores que controlan el modelado del relieve, factores tectónicos, bioclimáticos (desglaciación, fenómeno El Niño) y volcánicos. (Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K., 2021).

4.2.1. Unidad de montañas

4.2.1.1. Montaña en roca sedimentaria (RM-rs)

En la microcuenca de Subna se observan montañas en roca sedimentaria al lado sureste (Figura 23). Esta montaña presenta laderas con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y >45°) y se encuentra modelada en rocas sedimentarias de areniscas pertenecientes a la Formación Puente. Estas montañas son susceptibles a derrumbes y avalancha de detritos.

4.2.1.2. Montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Esta subunidad se forma debido a la deformación tectónica o actividad volcánica en capas de roca sedimentaria. A pesar de esto, todavía se pueden ver rasgos reconocibles de las estructuras originales.

La montaña Joto Jahuana es un ejemplo de este tipo de montañas (Figura 22), se tienen alineamientos compuestos por secuencias estratificadas y plegadas que forman anticlinales y sinclinales. Estos rasgos tienen una característica particular que se identifican en las imágenes satelitales.

El relieve muestra una superficie abrupta con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y $>45^\circ$). Las laderas escalonadas están conformadas por areniscas muy fracturadas y lutitas fragmentadas de la Formación Puente perteneciente al Grupo Yura.

Este tipo de montañas en la microcuenca Subna se observan al lado noroeste del anexo del mismo nombre.

4.2.1.3. Montaña en roca volcánica (RM-rv)

Se encuentra en el borde superior del lado este del límite de la microcuenca Subna (Figura 23). Está compuesta principalmente por rocas volcánicas como y brechas volcánicas pertenecientes a la Formación Orcopampa. Tiene laderas de pendientes muy fuertes a muy escarpados (25° - 45° y $>45^\circ$) y son susceptibles a caída de rocas y flujos.

4.2.1.4. Montaña en roca intrusiva (RM-ri)

Se encuentra sobre rocas intrusivas de la Super Unidad Tiabaya (Batolito de la Costa), se observa en la microcuenca de Subna (Figura 23) y cubre gran parte de las laderas con pendientes mayores a 25° (muy fuertes a muy escarpados).

Desde el punto de vista geodinámico, por estas montañas discurren los flujos de detritos.

4.2.2. Unidad de piedemonte

4.2.2.1. Piedemonte proluvial o aluviotorrencial (P-pral)

Son zonas de transición entre la montaña y la llanura, donde se acumulan los sedimentos transportados por cursos de agua durante precipitaciones excepcionales que bajan de las montañas a manera de flujos de detritos (huaicos).

Las quebradas Jollpa, Silco y Grande del distrito de Ayo son ejemplos de estas zonas en las que se depositaron sedimentos en forma de abanicos aluviotorrenciales y conos de deyección en la base de las montañas.

La acumulación de estos depósitos da lugar a terrenos con pendientes suaves y onduladas, que son muy adecuados para la agricultura y sobre la cual se encuentra el centro poblado de Ayo (Figura 22).



Figura 22. Vista hacia el noroest. Se muestra la montaña estructural en roca sedimentaria (cerro Joto Jahuana), Piedemonte proluvial o aluviotorrencial y vertiente coluvial. Que se encuentra en los alrededores del centro poblado de Ayo.

4.2.2.2. Abanico de piedemonte (Ab)

Estos abanicos se forman en las laderas de las montañas del Noroeste del anexo de Subna (Figura 24). Se caracterizan por su forma cónica y su superficie irregular, y en la zona de evaluación están compuestos por una mezcla de tonalitas, areniscas, lutitas y otros materiales que han sido arrastrados por la gravedad desde las laderas superiores.

4.2.2.3. Vertiente coluvio deluvial (V-cd)

En el sector de Joto Jahuana se pueden observar vertientes coluvio deluviales (Figura 22) de la montaña estructural sedimentaria con pendientes mayores a 25° (muy fuertes a muy escarpados), las cuales están conformadas por la acumulación de sedimentos y materiales sueltos que se desprenden de la ladera de la montaña y se depositan en la base de esta. Tienen la posibilidad de generar derrumbes y avalanchas de detritos.

Es importante mencionar que el canal de riego principal del centro poblado de Ayo pasa por esta vertiente coluviodeluvial.

4.2.2.4. Vertiente glacio-fluvial (V-gfl)

Se encuentra en la microcuenca de Subna, sobre la cual se ubica el anexo Subna (Figura 23). Esta vertiente se formó cuando el agua de fusión de los glaciares fluyó por la superficie del terreno transportando grandes cantidades de sedimentos y se unió a los ríos y arroyos existentes como las quebradas Torrecilla, Grande, Millayita Agua Chica y Agua Grande. La vertiente glacio-fluvial es típicamente más empinada que otras

vertientes con pendientes que alcanzan hasta los 25° (pendiente fuerte), gran cantidad de sedimentos y tiene una forma en V o U.

Es más propensa a la erosión y la sedimentación que otras vertientes debido a la mayor cantidad de caudal temporal que fluye por ella.

4.2.3. Crioforma glaciar acumulativa

4.2.3.1. Morrenas (Mo)

Se componen de acumulaciones de sedimentos que se forman en los glaciares y son transportados por el hielo. Se encuentra en la cumbre de los cerros Hatun Pasto, Ticlla Huytani y Jonta Jota de la microcuenca Subna (Figura 23).

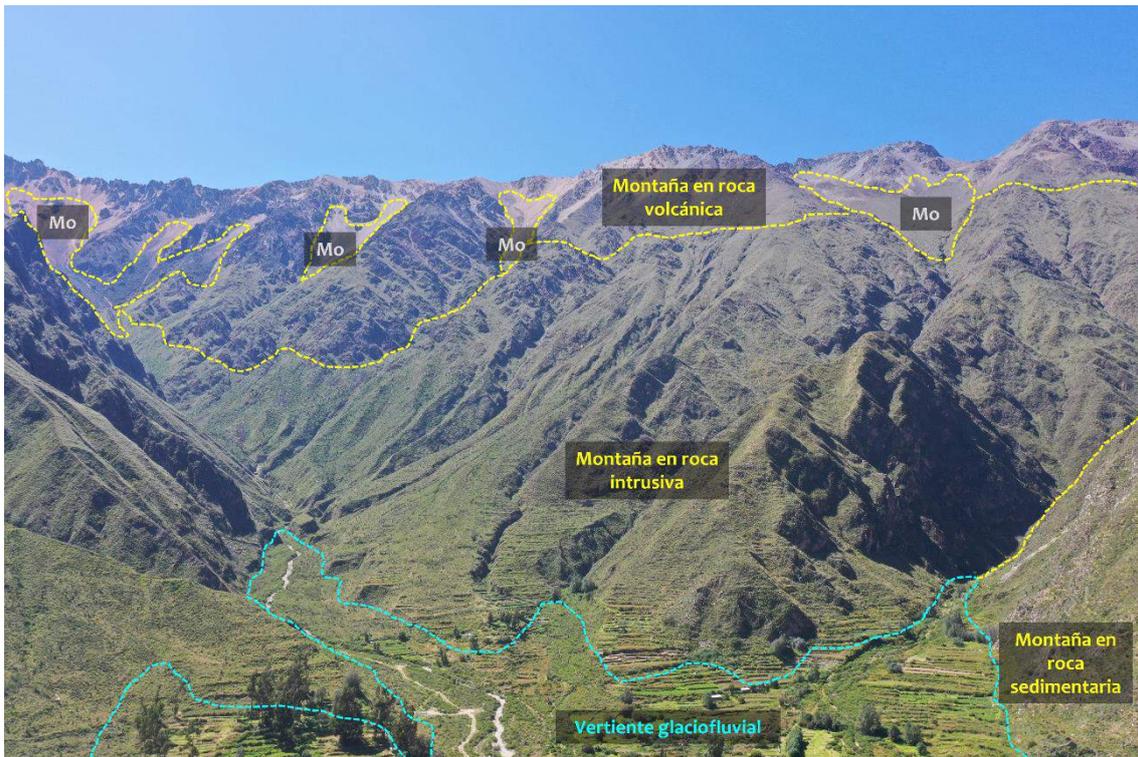


Figura 23. Muestra las montañas en roca sedimentaria, en roca intrusiva, en roca volcánica, vertiente glaciofluvial (morrenas).

4.2.4. Lava

4.2.4.1. Coladas de lavas basalto-andesíticas (Ca-la)

Las coladas de lavas basalto-andesíticas son flujos de lava que se originan en volcanes y que contienen una mezcla de basalto y andesita.

El basalto es una roca ígnea volcánica de color oscuro y textura fina, mientras que la andesita es una roca ígnea volcánica de color grisáceo y textura más gruesa. La mezcla de estas dos rocas produce una lava que fluye a una velocidad intermedia y que puede formar coladas extensas.

En cuanto a la ubicación geográfica, la subunidad geomorfológica se encuentra al lado oeste del anexo de Subna (Figura 24).



Figura 24. Se muestra la colada de lavas y abanico de piedemonte, que son subunidades geomorfológicas observadas en los alrededores del anexo Subna. Vista oeste de la microcuenca Subna.

5. PELIGROS GEOLOGICOS

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Joto Jahuana

La descripción de los eventos geodinámicos en el sector de Joto Jahuana del centro poblado de Ayo se realizó con base en la información de campo mediante el cartografiado geológico y geodinámico, observación y descripción morfométrica in situ. También se tomaron datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de elevación del terreno (DEM) y un ortomosaico con una resolución de 48cm y 6cm respectivamente. Además, se complementó con el análisis de imágenes satelitales.

El sector se encuentra en una montaña estructural en roca sedimentaria de estructuras muy fracturadas a fragmentadas y moderadamente meteorizadas, características que generan peligros como caída de rocas, derrumbes, avalancha de detritos y flujos de detritos.

Los eventos mencionados afectan al canal de riego y por ende la producción agrícola de pan llevar. (Mapa 04 del Anexo 01).

5.1.1. Caída de rocas

Son frecuentes en la vertiente de la montaña Joto Jahuana (Figura 25), porque se tienen areniscas muy fracturadas y lutitas fragmentadas; además, presenta laderas con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$), hacen que el material inestable de la ladera se desplace cuesta abajo. Se le califica como **peligro alto**. Por lo tanto, constituye una

amenaza permanente a la infraestructura del canal de riego, a la población de regantes que transita por dicho canal y áreas de cultivo próximas al piedemonte.

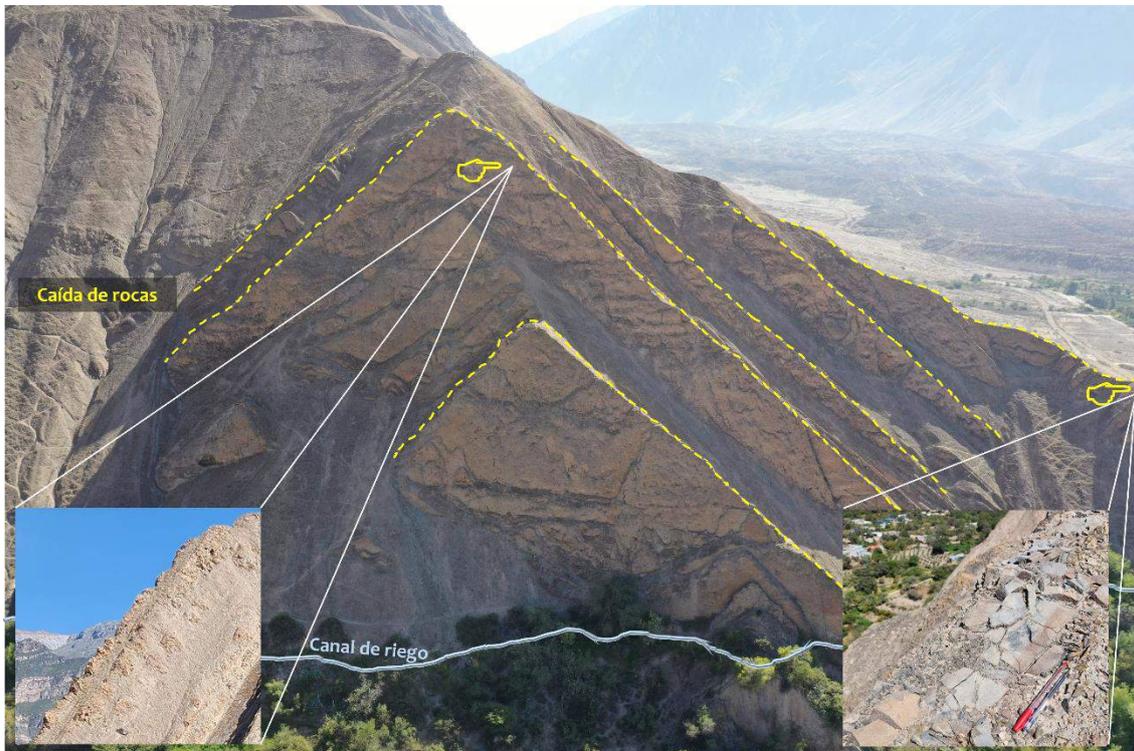


Figura 25. Se muestra las laderas de la montaña Joto Jahuana, con pendientes muy escarpadas (>45°), y el canal de riego.

5.1.2. Derrumbe

Los factores que condicionaron el derrumbe son la arenisca muy fracturada y las laderas con pendientes muy escarpadas (>45°), en el sector de Joto Jahuana. El derrumbe tiene una longitud de arranque que varía entre 4 y 7 metros. Sus formas son regulares. En el cuerpo del derrumbe se observan bloques angulosos de hasta 0,35 metros, así como gravas en una matriz limo arenoso. El derrumbe representa un **peligro alto** para el canal de riego en esta zona (Figura 28).

5.1.3. Avalancha de detritos

Se caracteriza por el desplazamiento libre del material detrítico, son eventos con velocidades de rápido a extremadamente rápido, saturados compuesto por fragmentos de rocas angulosas de bloques con tamaños máximos de hasta 0.3 m y gravas dentro de una matriz limo arenoso (Figura 26).

Los factores condicionantes son laderas con pendientes muy fuertes (25° - 45°), material suelto y saturado, con aumento de peso de la masa, lo que genera inestabilidad.

Este proceso puede afectar al canal de riego que pasa por el pie de la montaña. Este evento se produce durante los periodos de precipitaciones pluviales extremas. Por lo mencionado se considera de **peligro alto**.



Figura 26. Se observa la acumulación de avalancha de detritos en las vertientes de la montaña (cerro Joto Jahuana). Estos fragmentos de rocas que ceden continuamente rellenan el canal de riego.

5.1.4. Flujo de detritos

De acuerdo con los testimonios de los pobladores del centro poblado de Ayo, en las laderas de la montaña Joto Jahuana se producen flujos de detritos (huaicos) durante los periodos de precipitaciones anuales que presentan máximas intensidades.

Esta recurrencia de acarreo de material afecta directamente al canal de riego que pasa por el piedemonte de esta montaña y ocasionalmente a ciertas áreas de cultivo (Figura 27).

Las observaciones y trabajos de campo evidencian que fuente de material proviene de las areniscas y lutitas por estar muy fracturadas a fragmentadas y moderadamente meteorizadas.

En las laderas se observa abundante material detrítico suelto producto de la meteorización de las rocas, que aportan material al cauce de la quebrada. En el cauce de la quebrada se tienen bloques que alcanzan diámetros de hasta 0.4m englobados en matriz limo arenoso.

De producirse lluvias excepcionales, se generarían flujos de detritos (huaico), que arrastrarían un gran volumen de sólidos de material como lodo y bloques de diferentes tamaños. Esto afectaría la infraestructura del canal de riego y áreas agrícolas (Figuras 28 y 29).

En el área evaluada se observan diferencias flujos de detritos recientes y antiguos, la primera corresponde a los eventos frecuentes que afecta directamente al canal de riego. Por lo mencionado se considera de **peligro alto**.

El flujo de detritos antiguo corresponde a lo registrado en la quebrada Grande, que formó una terraza con altura de hasta 25 metros de altura, sobre la cual se ubica el centro poblado de Ayo.



Figura 27. Vista hacia el noroeste. Se observa las direcciones del flujo de detritos en las vertientes de la montaña (cerro Joto Jahuana).



Figura 28. Vista hacia el noreste. Se observa un derrumbe y direcciones del flujo de detritos, en el cerro Joto Jahuana.



Figura 29. Se observa las direcciones del flujo de detritos en la ladera del cerro Joto Jahuana. Afecta la vía Ayo – Andagua.

5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa – Anexo Subna

La descripción de los eventos geodinámicos en el anexo de Subna se realizó con base en la información de campo mediante el cartografiado geológico y geodinámico, observación y descripción morfométrica in situ. También se tomaron datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de elevación del terreno (DEM) y un ortomosaico con una resolución de 25cm y 3cm respectivamente. Además, se complementó con el análisis de imágenes satelitales.

El anexo de Subna se encuentra sobre depósitos proluviales, terrazas formadas por varios eventos que han transcurrido por años.

La microcuenca Subna tiene materiales coluviales de fácil erosión ante lluvias torrenciales (Figura 5), los que alimenta el cauce de la quebrada.

De generarse flujos de detritos (huaicos), los depósitos llegarían hasta la zona baja, esto afectaría directamente la población del anexo de Subna y sus medios de vida. (Mapa 08 del Anexo 01).

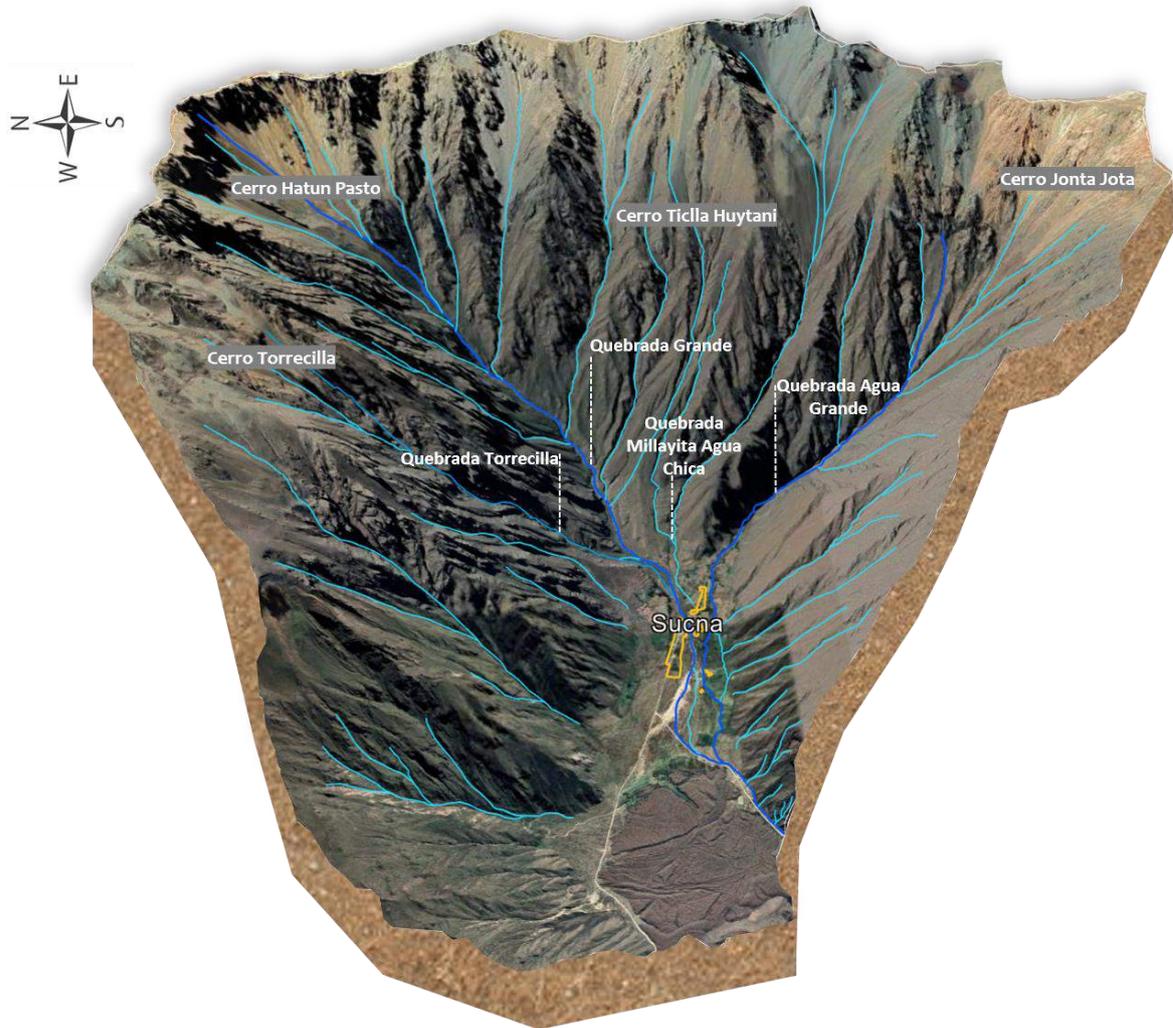


Figura 30. Se representa de manera esquemática la ubicación del anexo de Subna, denominaciones locales de montañas y cursos de agua.

5.2.1. Flujo de detritos

Según la información verbal recopilada de los habitantes del anexo Subna, los años que ocurrieron huaicos bien definidos y que causaron daños, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Recopilación verbal de eventos de flujos de detritos (huaicos) del anexo Subna.

Lugar de origen	Año	Descripción
Cerro Hatun Pasto	02 de febrero de 1967	Flujo de detritos (huaico) que se desarrolló en la quebrada Grande, destruyendo gran parte de viviendas y sepultando algunas otras. El evento llegó a transportar bloques de roca con diámetros de hasta 4.5m. Lo que evidencia su poder de carga de material. Estos materiales se pueden observar en el frontis de la iglesia del anexo Subna (Figura 31).
Cerro Torrecilla y cerro Hatun Pasto	2016	El flujo de detritos (huaico) arrastró abundante material por el cauce de la quebrada Grande, generando una socavación considerable del cauce.

Cerro Jonta Jonta	2017	Flujo de detritos (huaico) que arrastró abundante material por la quebrada Agua Grande, generando bifurcaciones en el curso del cauce de dicha quebrada.
Cerro Jonta Jonta	2019/2020	Flujo de detritos (huaico) que se desarrolló en la quebrada Agua Grande y sepultó el reservorio Agua Grande. Actualmente desenterrado, se usa para la captación y distribución de agua para riego en el anexo Subna.

Nota. La tabla recopila información verbal de los eventos de flujos de detritos (huaicos) de los pobladores del anexo Subna. Así como datos del origen del flujo, años y descripción de la ocurrencia del fenómeno.

Los relatos coinciden con la ocurrencia de los cuatro eventos extraordinarios del fenómeno El Niño en los últimos ciento veinte años que son 1925, 1982/1983, 1997/1998 y 2017 y el histograma de precipitaciones totales mensuales en milímetros, distribuidas a lo largo del período 1963 – 2013 elaborado a partir de datos pluviométricos de la estación meteorológica convencional Ayo – SENAMHI (Figura 5).



Figura 31. Se observan bloques de rocas de hasta 4.5 m., restos del flujo de detritos (huaico) ocurrido en 1967. Es importante destacar que este evento arrasó con gran parte de las viviendas, sepultó algunas otras y es uno de los mayores eventos recordados por los pobladores del anexo Subna.

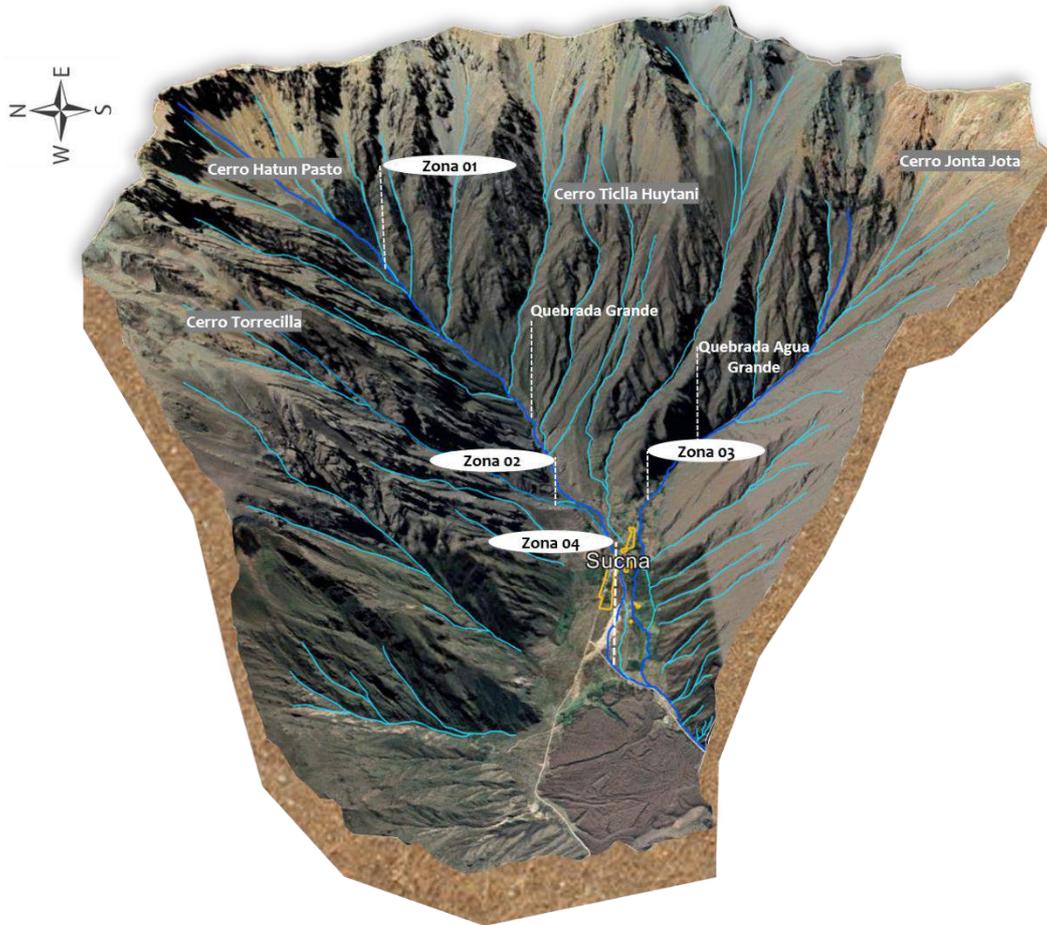


Figura 32. Se muestra a manera esquemática la ubicación de las zonas de aporte para la generación de flujos de detritos.

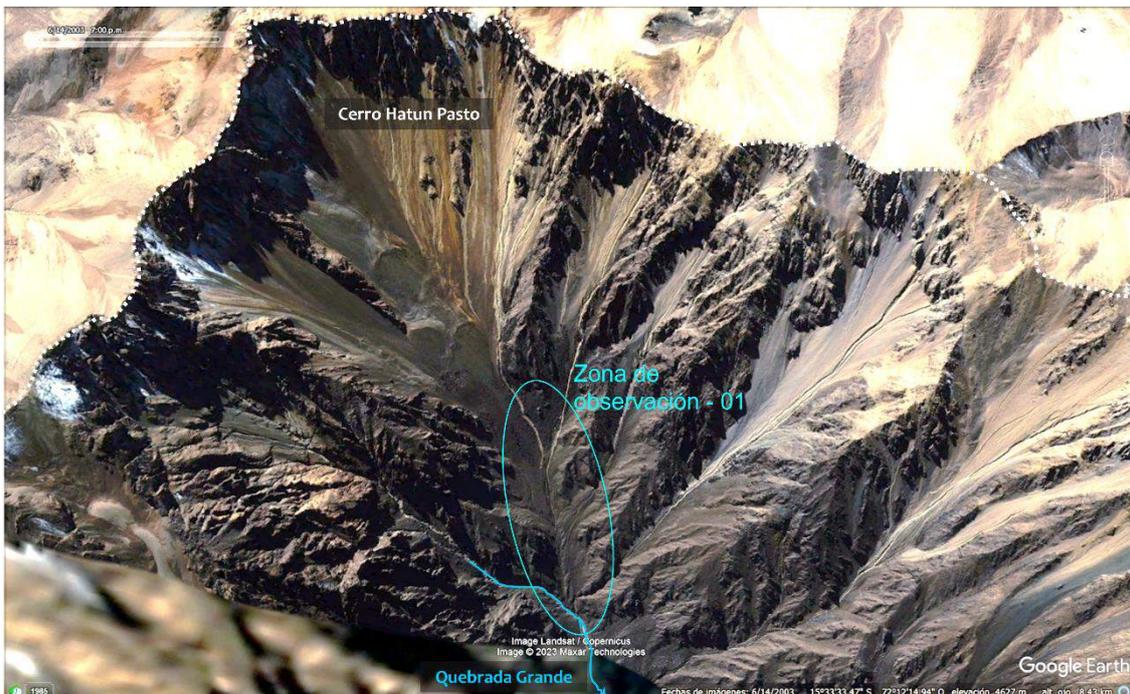


Figura 33. Zona de observación N° 01. Se muestra la vertiente de montaña denominado localmente cerro Hatun Pasto. Vista al Noreste de la microcuenca Subna.

Fuente: Google Earth, 2003.



Figura 34. Se muestra la zona de observación N° 02, que se ubica en la quebrada Torrecilla que desemboca en la quebrada Grande. Vista al Norte de la microcuenca Subna.
Fuente: Google Earth, 2010.

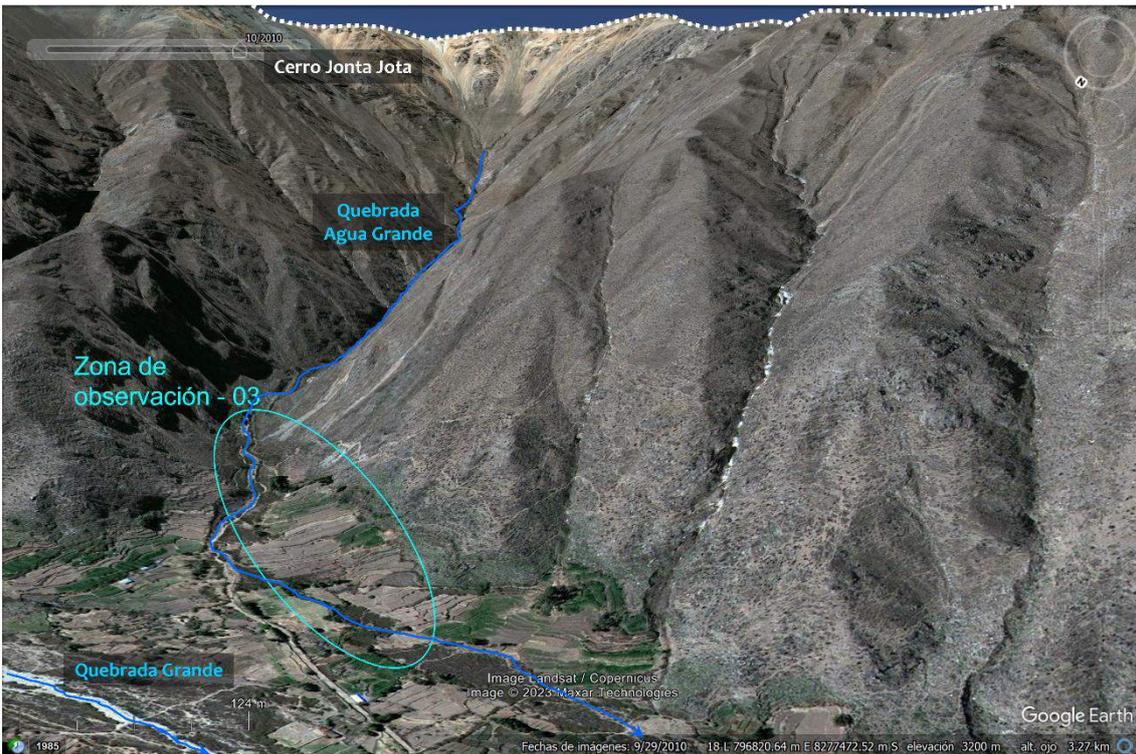


Figura 35. Zona de observación N° 03. Se ubica en la quebrada Agua Grande. Vista al Sureste de la microcuenca Subna.
Fuente: Google Earth, 2010.

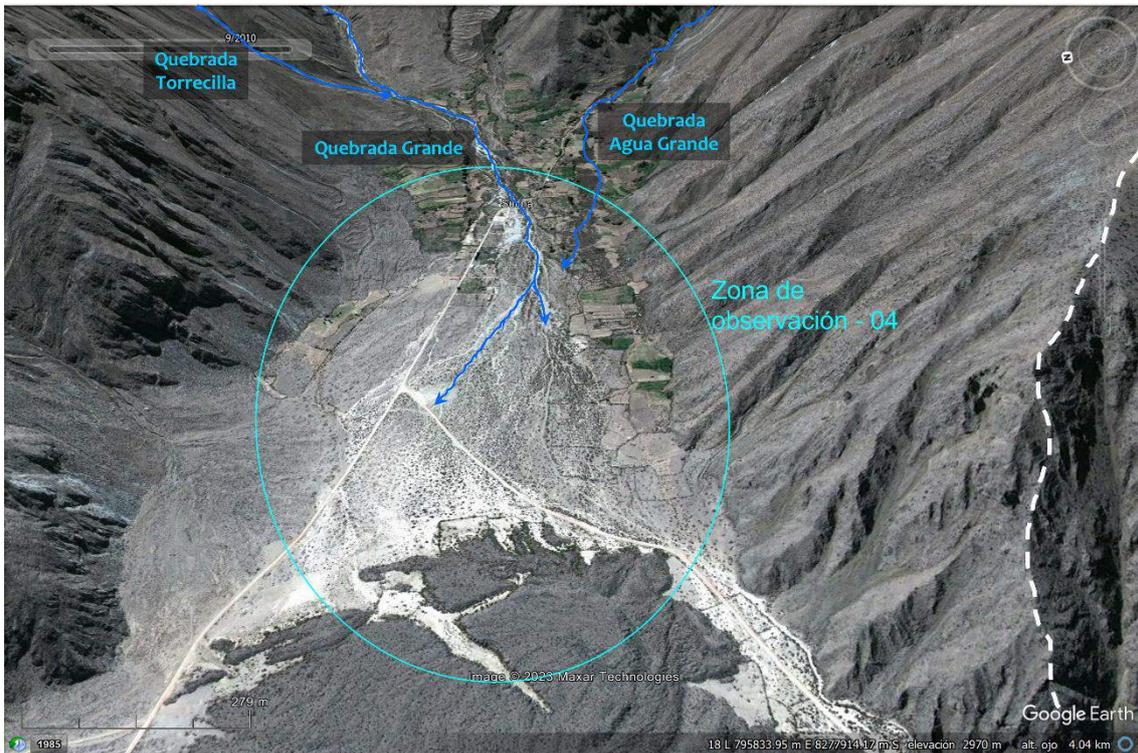


Figura 36. Se muestra la zona de observación N° 04, se ubica en la quebrada Grande y anexo Subna. Vista en dirección este de la microcuenca Subna.
Fuente: Google Earth, 2010.

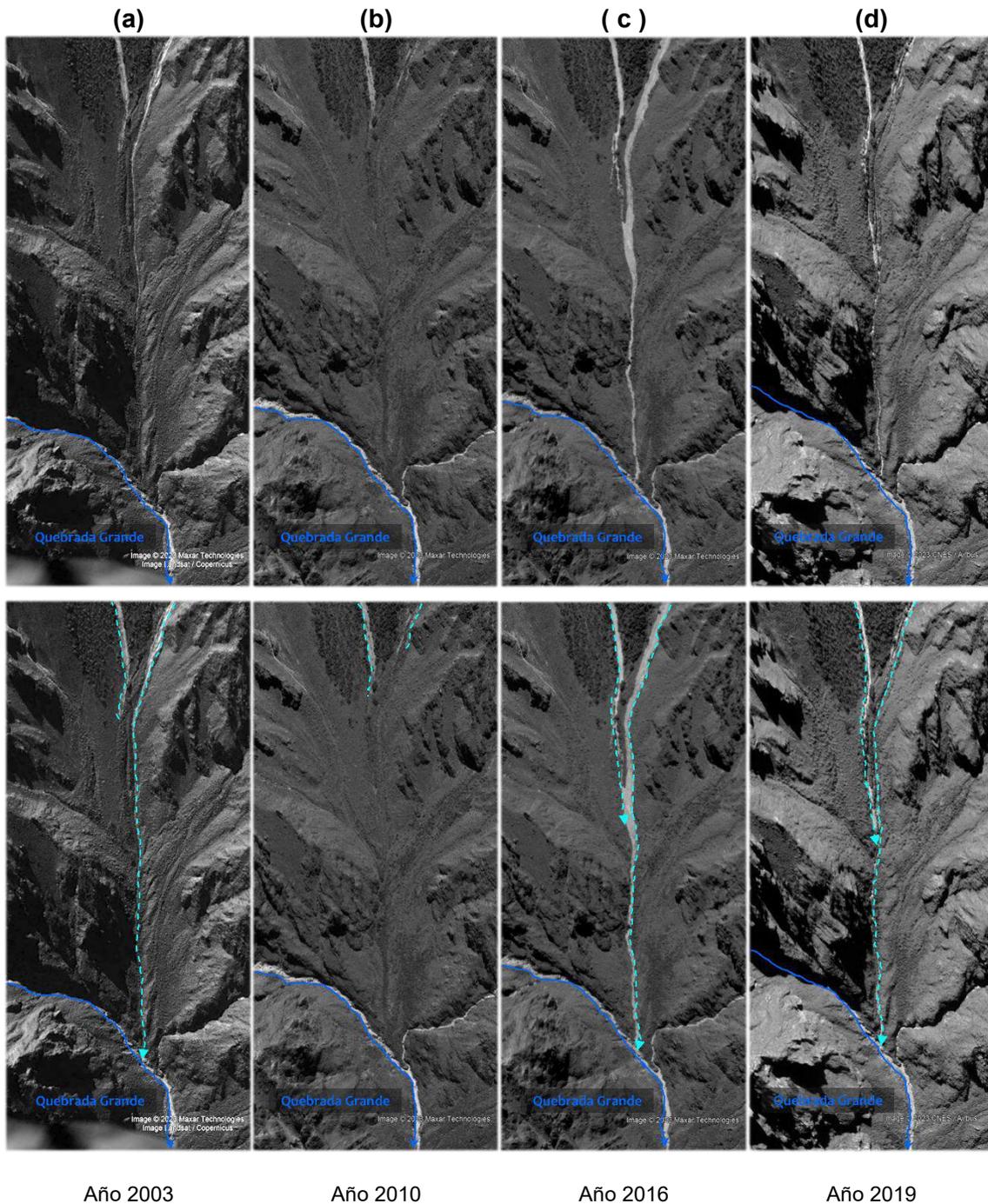


Figura 37. Imágenes satelitales multitemporales de la zona de observación N°01. Las imágenes satelitales multitemporales revelan la dinámica de los flujos de detritos en las vertientes del cerro Hatun Pasto. En la zona de observación N°01 se hace una comparación multitemporal donde se muestran las ocurrencias de diferentes formas que han discurrido los flujos de detritos que desembocan en la quebrada Grande. **(a)** La imagen satelital del 14/06/2003 muestra una huella de flujo de detritos que desemboca en la quebrada Grande. **(b)** En la imagen satelital del 22/09/2010 no se observa alguna marca de la ocurrencia del flujo de detritos en esta zona. **(c)** La imagen satelital del 28/09/2016 muestra dos huellas amplias y definidas de flujo de detritos que desemboca en la quebrada Grande. **(d)** La imagen satelital del 01/07/2019 muestra dos huellas de flujo de detritos que desemboca en la quebrada Grande.

Fuente: Image Landsat/copernicus, Image ©2023 Maxar Technologies, Image ©2023 CNES / Airbus.

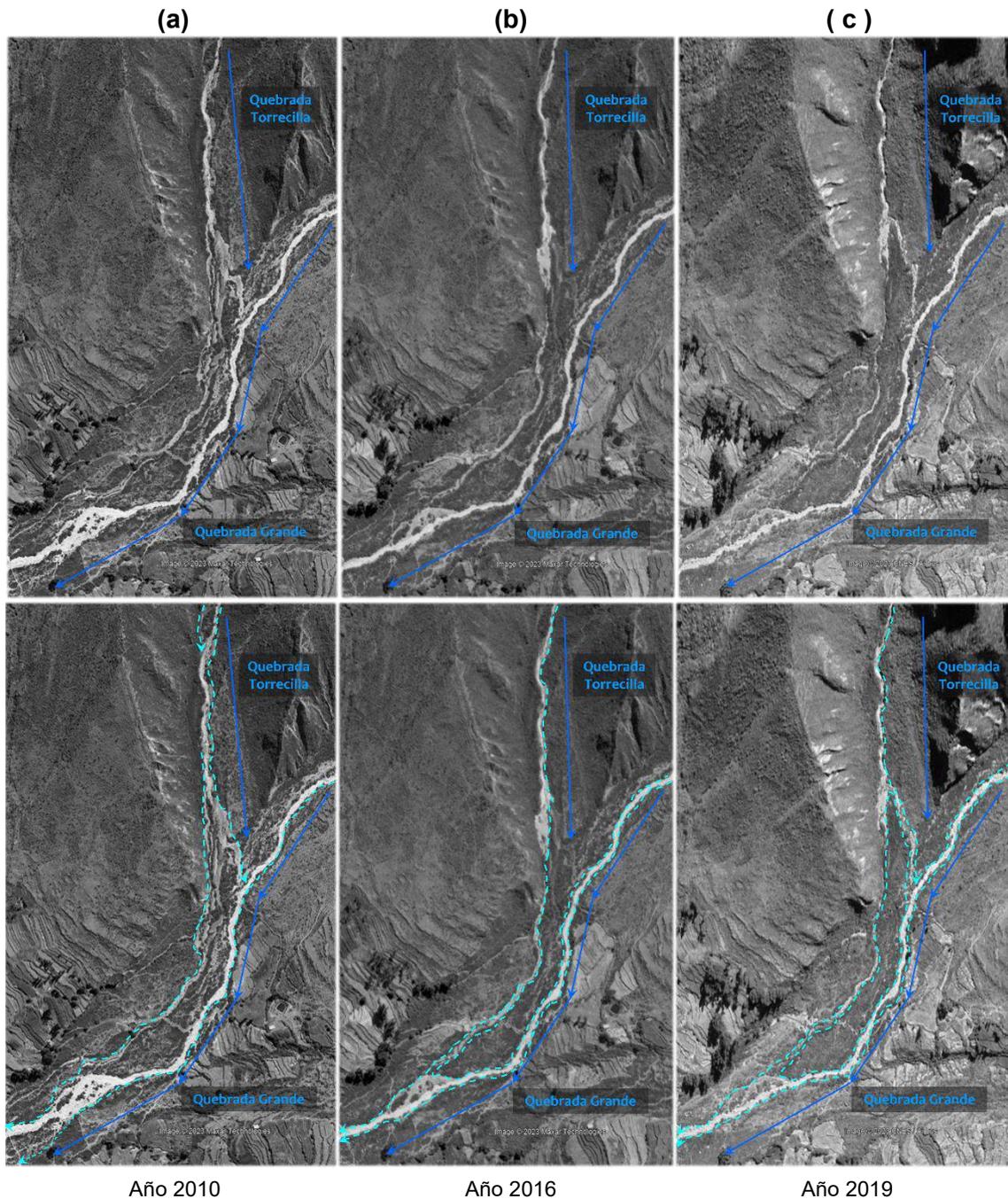


Figura 38. Imágenes satelitales multitemporales de la zona de observación N°02. Las imágenes satelitales multitemporales revelan la dinámica de los flujos de detritos en las vertientes del cerro Torrecilla. En la zona de observación N°02 se hace una comparación multitemporal donde se muestran las ocurrencias de diferentes formas que han discurrido los flujos de detritos que desembocan en la quebrada Grande.

(a) La imagen satelital del 29/09/2010 muestra una huella amplia de flujo de detritos con ciertas bifurcaciones en la quebrada Torrecilla, la cual desemboca en la quebrada Grande. **(b)** La imagen satelital del 28/09/2016 muestra una huella de flujo de detritos en la quebrada Torrecilla, la cual desemboca en la quebrada Grande. **(c)** La imagen satelital del 08/03/2019 muestra dos huellas bien definidas de flujo de detritos en la quebrada Torrecilla, la cual desemboca en la quebrada Grande.

Fuente: Image ©2023 Maxar Technologies, Image ©2023 CNES Airbus.

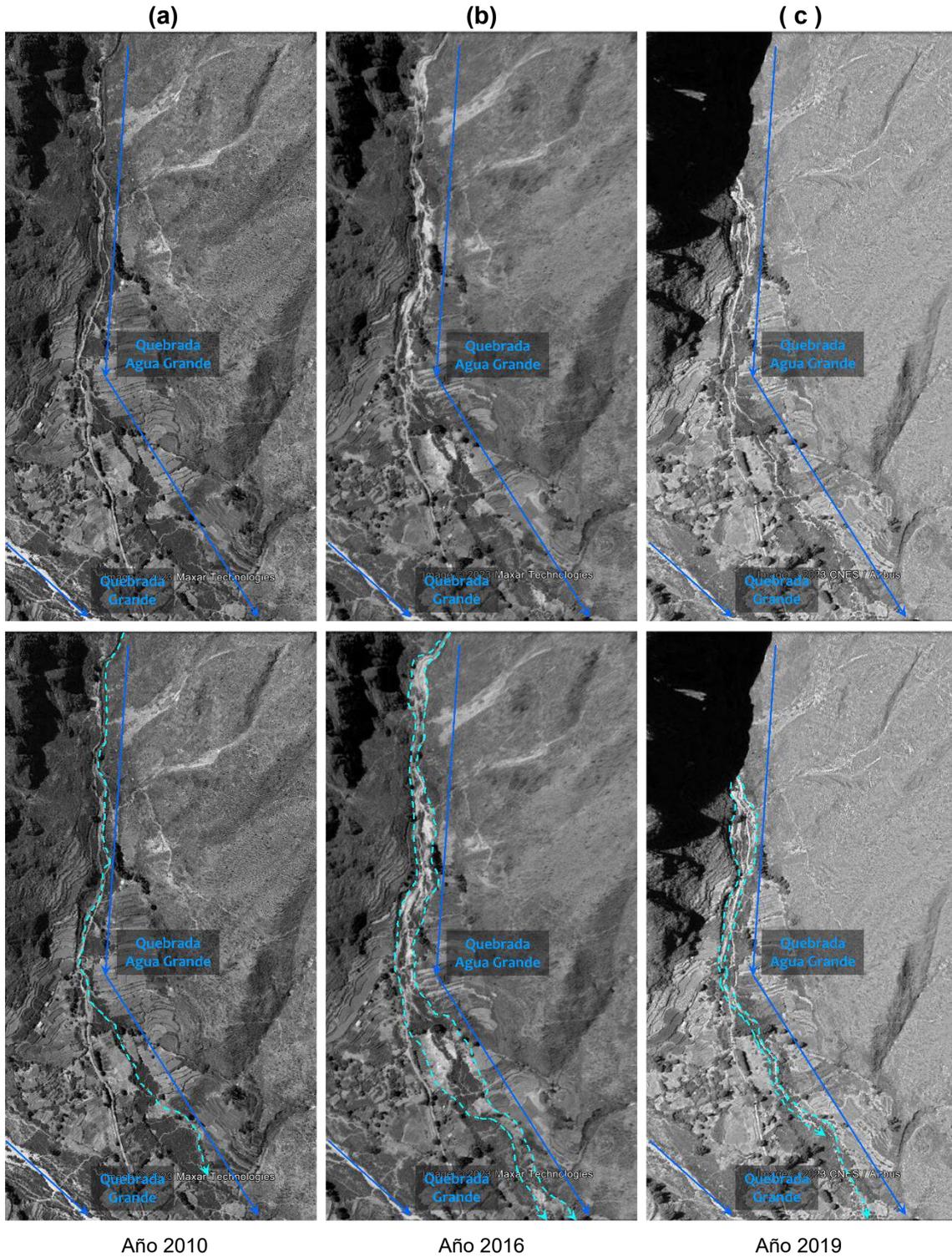


Figura 39. Imágenes satelitales multitemporales de la zona de observación N°03. Se muestran las ocurrencias de diferentes formas, como los flujos de detritos en la quebrada Agua Grande. (a) La imagen satelital del 29/09/2010 muestra la marca natural de cauce de la quebrada Agua Grande. (b) La imagen satelital del 28/09/2016 muestra una huella amplia de flujo de detritos con ciertas bifurcaciones en la quebrada Agua Grande. (c) La imagen satelital del 08/07/2019 se aprecia una huella amplia dejada por un flujo de detritos con ciertas bifurcaciones en la quebrada Agua Grande.
Fuente: Image ©2023 Maxar Technologies, Image ©2023 CNES / Airbus.

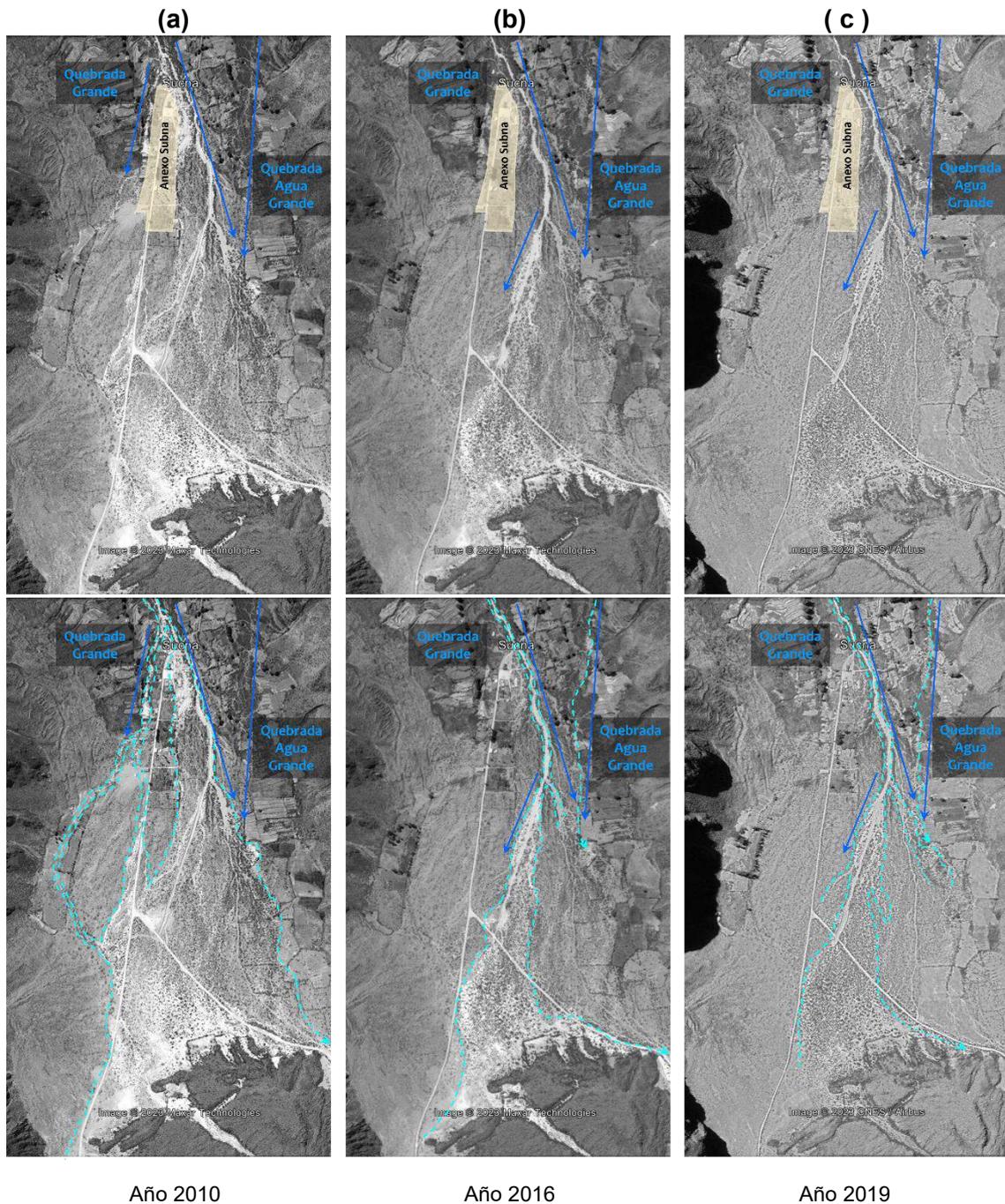


Figura 40. Imágenes satelitales multitemporales de la zona de observación N°04. Se hace una comparación multitemporal donde se muestran las ocurrencias de diferentes formas que han discurrido los flujos de detritos en el Anexo Subna.

(a) En la imagen satelital del 29/09/2010 se observa la huella de un flujo de detritos y sus bifurcaciones de la quebrada Grande, afectó vías de acceso, áreas de cultivo y gran parte de la población del anexo Subna.

(b) En la imagen satelital del 28/09/2016 se muestra un flujo de detritos sobre la quebrada Grande con sus bifurcaciones, aguas abajo del anexo Subna. También se observa una huella regular de flujo de detritos de la quebrada Agua Grande que se pierde entre las áreas de cultivo.

(c) En la imagen satelital del 08/07/2019, se aprecia una huella dejada por un flujo de detritos con sus bifurcaciones en la quebrada Grande. También se observa una huella regular de flujo de detritos de la quebrada Agua Grande que se pierde entre las áreas de cultivo y la bifurcación de la quebrada Grande.

Fuente: Image ©2023 Maxar Technologies, Image ©2023 CNES / Airbus.

Las observaciones de campo (Figura 41) y las imágenes satelitales multitemporales muestran que en las quebradas Torrecilla, quebrada Agua Grande y quebrada Grande (Figura 38, 39 y 40) ocurrieron varios eventos de flujos de detritos.

El anexo de Subna se encuentra sobre terrazas proluviales con altura en promedio de 1.20 metros, los cauces de las quebradas no se encuentran canalizados. Se tienen viviendas próximas al cauce de la quebrada.

El anexo de Subna se encuentra en **Peligro Alto a Muy Alto** por flujo de detritos (huaico).

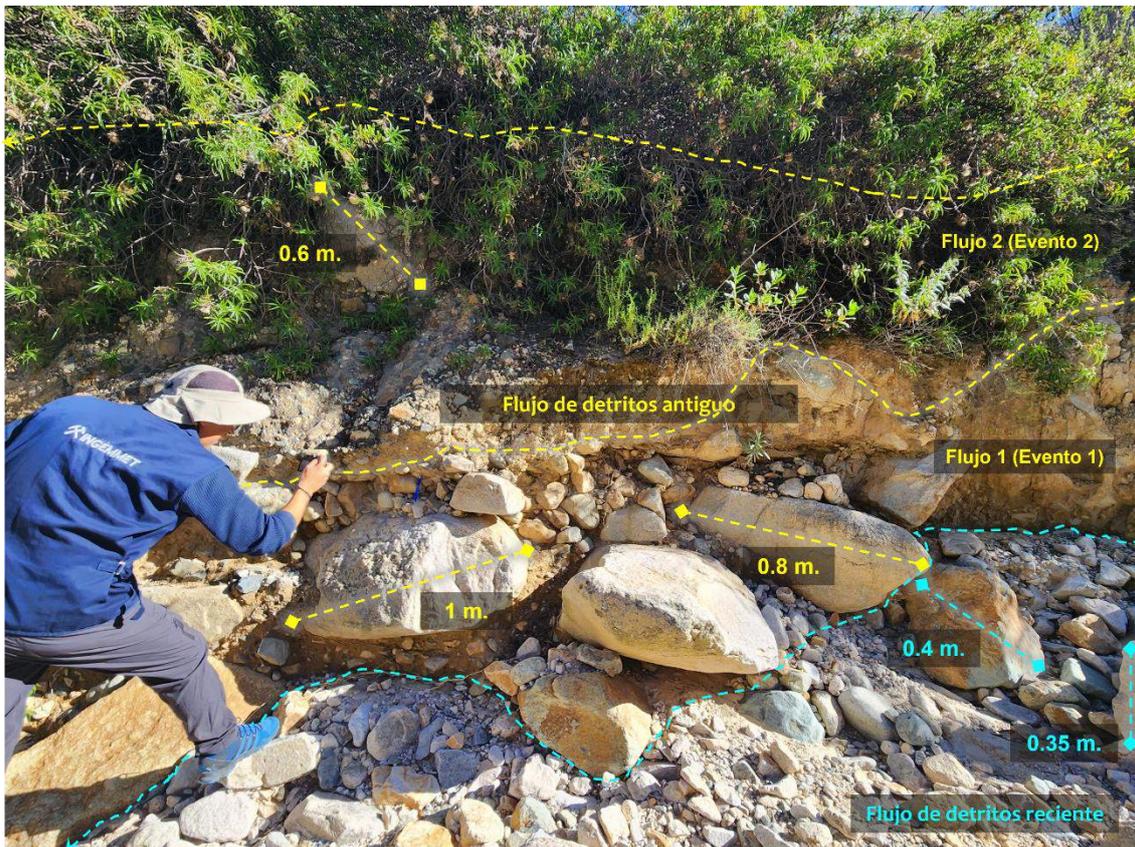


Figura 41. Se aprecia los depósitos de flujos de detritos pasados, compuesto por bloques angulosos a subangulosos con diámetros de hasta 1 m, gravas y matriz arenolimoso. Asimismo, se observan depósitos de flujos de detritos recientes que muestran bloques de diámetro de hasta 0.4 m y gravas en matriz arenolimoso.

5.2.2. Derrumbe

En la microcuenca de Subna, en la margen derecha de la quebrada Torrecilla (Figura 42) y margen izquierda de la quebrada Agua Grande (Figura 43), se identificaron derrumbes.

Las condiciones para generación de estos eventos son laderas con pendientes muy fuertes (25°- 45°) y areniscas medianamente fracturadas (Formación Puente). El nivel de peligro se considera medio.



Figura 42. La figura muestra la ocurrencia de un derrumbe en la margen derecha de la quebrada Torrecilla. Vista hacia el noroeste.



Figura 43. Se muestra la margen izquierda de la quebrada Agua Grande, se evidencia cicatrices de un derrumbe. Las condiciones del sustrato rocoso son areniscas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas y laderas con pendientes muy escarpadas ($>45^\circ$).

5.2.3. Avalancha de rocas

En el anexo Subna, este evento está compuesto por bloques angulosos (tamaños máximos de hasta 0.6 m) y gravas englobadas en matriz limo arenoso (Figura 44).

Una de las condiciones es que las laderas de los cerros Torrecilla, Hatun Pasto y Jonta Jota presenta pendientes muy fuertes a muy escarpadas ($>25^\circ$), que ayuda a que el material inestable de la ladera se desplace cuesta abajo.

Estos procesos son detonados durante periodos de precipitaciones pluviales de intensidades máximas. El nivel de **peligro** se considera **medio**.



Figura 44. La figura muestra avalanchas de rocas en el cerro Torrecilla, ubicada al norte del anexo Subna (marcadas con líneas entrecortadas amarillas).

5.2.4. Caída de rocas

Las laderas de las cumbres de los cerros Torrecilla, Ticlla Huytani, Hatun Pasto y Jonta Jota (Figura 45), ubicadas al este de la microcuenca Subna, presentan caídas de rocas.

Las condiciones son rocas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas, otra es laderas con pendientes muy fuertes a muy escarpadas ($>25^\circ$).

Por las condiciones mencionadas se le califica como **peligro alto**.

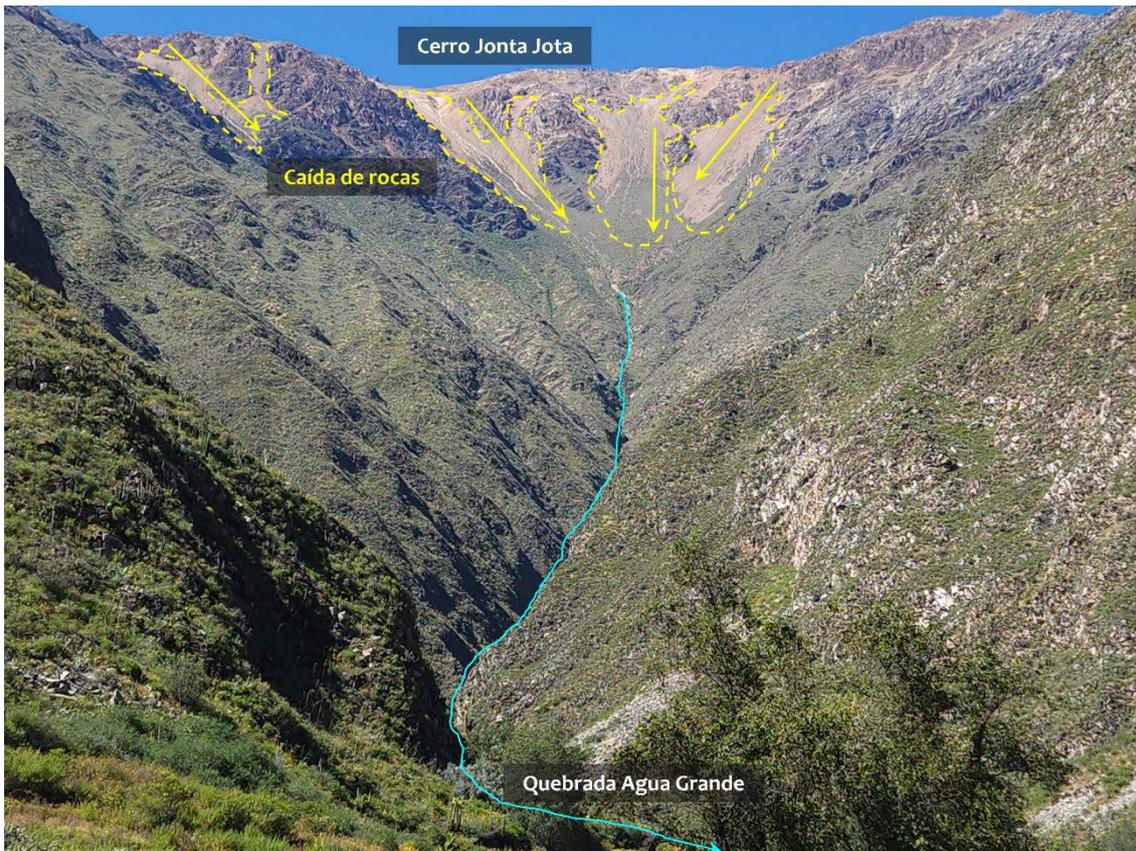


Figura 45. La figura muestra la cumbre del cerro Jonta Jota donde se observa caída de rocas (marcadas con líneas entrecortadas amarillas).

5.3. Factores condicionantes

Las causas principales están relacionados a los siguientes factores:

- **Factor: Litología**

Sector Joto Jahuana:

Se tienen areniscas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas; lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y fragmentadas, factores condicionantes para generar caída de rocas y avalancha de detritos. Estos depósitos son susceptibles al transporte ante precipitaciones pluviales intensas.

Anexo Subna:

En la parte alta del lado este de la microcuenca Subna, las cumbres de los cerros tienen afloramientos de tobas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Se aprecian antiguos eventos inestables, propensos a ser removidos por las precipitaciones pluviales intensas o sismos.

- **Factor: Geomorfológico**

Sector Joto Jahuana:

La montaña estructural en roca sedimentaria Joto Jahuana presenta laderas con pendiente variable de muy fuertes (25° - 45°) a muy escarpadas ($>45^{\circ}$). Estas

características permiten que los depósitos inestables ante cualquier detonante (lluvias o sismos) puedan discurrir por la ladera fácilmente.

Anexo Subna:

Se tiene montaña en roca volcánica e intrusiva con laderas de pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y $>45^\circ$), permite que el material suelto proveniente de los depósitos discurra fácilmente por efectos de la gravedad y escorrentía de aguas superficiales.

5.4. Factores desencadenantes

- **Lluvias**

Las lluvias intensas y/o prolongadas, pueden saturar al terreno e inestabilizar los terrenos.

El histograma de la estación Ayo – SENAMHI, precipitaciones totales mensuales en milímetros distribuidas a lo largo del período 1963-2013, muestra que la máxima precipitación fue de 30 mm en el año 1967, este dato concuerda con el flujo de detritos que se generó por la quebrada Grande. Confirmado por la manifestación oral de los pobladores del anexo Subna.

6. CONCLUSIONES

6.1. Sector Joto Jahuana

- a) Sustrato rocoso de montaña estructural conformado por areniscas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas, lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y fragmentada, que condicionan a la generación de caída de rocas y avalancha de detritos.
- b) Las laderas del cerro Joto Jahuana presenta pendientes muy fuertes a muy escarpados ($25^\circ - 45^\circ$ y $>45^\circ$), lo que facilita el arrastre del material suelto disponible en sus laderas; provocados por el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial.
- c) Los depósitos identificados son de fácil remoción ante precipitaciones pluviales intensas, su remoción afectaría directamente la infraestructura y el buen funcionamiento del canal de riego del centro poblado de Ayo.
- d) En el sector Joto Jahuana y alrededores se han identificado y cartografiado movimientos en masa de tipo caída de rocas, derrumbes, avalancha de detritos y flujos de detritos.
- e) Debido a las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas del sector Joto Jahuana, se le califica como de **Peligro Alto**.

6.2. Anexo Subna

- a) Las cumbres de montañas del lado este de la microcuenca Subna están formadas por tobas altamente meteorizadas y medianamente fracturadas.
- b) Las laderas presentan pendientes muy fuertes a muy escarpadas ($25^\circ - 45^\circ$ y $>45^\circ$). Estas condicionan la generación de caída de rocas, avalancha de detritos y flujo de detritos.
- c) Sobre las laderas de la microcuenca Subna se tienen depósitos inestables que ante lluvias son de fácil remoción.
- d) Se tienen evidencias y antecedentes de presencia de flujos de detritos (huaicos) detonados con las lluvias extraordinarias del periodo lluvioso 2019- 2020. Estos eventos sepultaron el reservorio Agua Grande (sirve para la captación y distribución de agua para riego en el anexo Subna).
- e) Los depósitos sueltos que se encuentran en las laderas de los cerros Torrecilla, Hatun Pasto, Ticlla Huytani y Jonta Jota alimentan los cauces de las quebradas Torrecilla, quebrada Grande y quebrada Agua Grande, que ante lluvias intensas generan flujos de detritos (huaicos).
- f) En el anexo Subna y alrededores se han identificado y cartografiado movimientos en masa de tipo caída de rocas, derrumbes, avalancha de rocas, avalancha de detritos y flujos de detritos (huaicos).
- g) El anexo Subna por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas se considera de **Peligro Alto a Muy Alto**.

7. RECOMENDACIONES

Sector Joto Jahuana:

- a) Se sugiere cambiar el trazo del canal de riego y mejorar el canal con tuberías de manera soterrada.
- b) Se recomienda realizar el desquinche de bloques de rocas de las laderas del cerro Joto Jahuana, porque dichos bloques de roca se encuentran suspendidos y en peligro Alto a generar caídas de rocas hacia el canal de riego.
- c) Instalar puentes colgantes para acueductos en los cauces de las quebradas profundas como la quebrada Grande.
- d) Promover y orientar a través de un Plan de Desarrollo Urbano la racional ocupación del suelo urbano y de las áreas de expansión urbana considerando la seguridad física ante la ocurrencia de los peligros naturales.

Anexo Subna:

- a) Construir diques en la parte alta de la quebrada Agua Grande, y canalizar el cauce de la quebrada Agua Grande, con la finalidad de preservar el reservorio de captación y distribución de agua para riego en el anexo Subna.
- b) Realizar trabajos de descolmatación en la quebrada Agua Grande, ya que acarrea abundante material después de épocas de avenida. De esta manera, el cauce limpio permitirá que este continúe su curso en tiempos de lluvia, evitando su bifurcación.
- c) Construir diques disipadores de energía en la parte alta de la quebrada Grande y muros de contención para proteger el área urbana del anexo Subna.
- d) Educar a la población realizando charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentra expuesto la población del anexo Subna.
- e) Establecer un Sistema de Alerta Temprana comunitario para que la población esté preparada y pueda evacuar de manera oportuna en caso de alerta de huaico. Esto puede incluir sirenas, mensajes de texto masivos o alarmas locales.
- f) Realizar el estudio de Evaluación del riesgo de desastres naturales (EVAR).
- g) Reasentar en el corto a mediano plazo la población próxima al cauce de la quebrada Grande del anexo Subna.


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


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

8. BIBLIOGRAFIA

Zavala, B.; Vílchez, M. & Rosado, M. (2013) - Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Arequipa. En: *Foro Internacional Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013, Libro de resúmenes*. Arequipa: INGEMMET, pp. 33-39. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1146>.

Caldas Vidal, Julio (1993). *Geología de los cuadrángulos de Huambo y Orcopampa*. Lima, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, Boletín N°46, Serie A, Hojas 32-r, 31-r : Carta Geológica Nacional (Escala 1:100 000), 62p. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/166>.

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Publicación Geológica Multinacional, n.4. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2830>

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. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>.

Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica. (2014). Datos/Descarga de datos meteorológicos. SENAMHI. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>

Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica. (2014). Datos/Descarga hidrometeorológicos a nivel nacional. SENAMHI. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica. (2020). Mapa climático del Perú. SENAMHI. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Población y vivienda. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/difusion/apps/#p=17>

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Catalogo de servicios y publicaciones 2023. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/media/difusion/apps/#p=17>

Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrológica - SENAMHI. (2014). Registro histórico de El niño. Ministerio del Ambiente. Recuperado el 24 de mayo de 2023, de <https://www.minam.gob.pe/fenomenodelnino/el-nino-en-el-peru-y-sus-caracteristicas/registro-historico-de-el-nino/>

Organización Meteorológica Mundial - OMM. (2020). 2019 fue el segundo año más cálido del que se tienen datos. Organización Meteorológica Mundial. Recuperado el 24 de mayo de 2023, de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/2019-fue-el-segundo-a%C3%B1o-m%C3%A1s-c%C3%A1lido-del-que-se-tienen-datos>

Google. (2003). Google Earth [Mapa]. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

Google. (2010). Google Earth [Mapa]. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

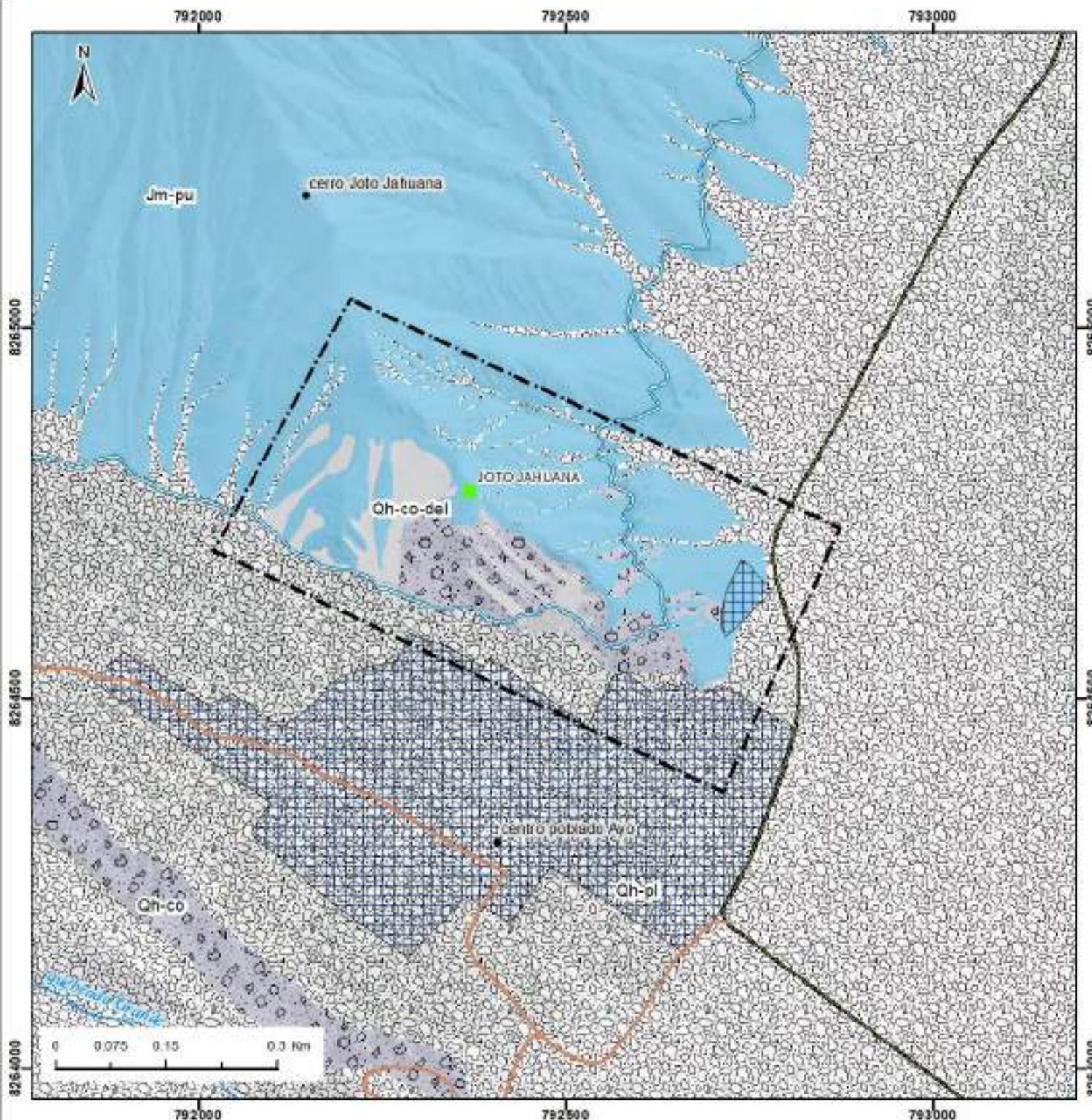
Google. (2016). Google Earth [Mapa]. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

Google. (2019). Google Earth [Mapa]. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

ANEXO 01: MAPAS

Se presenta los siguientes mapas:

- Mapa N°1. Mapa geológico del sector Joto Jahuana. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r).
- Mapa N°2. Mapa de pendientes del terreno del sector Joto Jahuana.
- Mapa N°3. Mapa de unidades geomorfológicas del sector Joto Jahuana.
- Mapa N°4. Mapa de cartografiado de peligros geológicos del sector Joto Jahuana.
- Mapa N°5. Mapa geológico del anexo Subna. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r).
- Mapa N°6. Mapa de pendientes del terreno del anexo Subna.
- Mapa N°7. Mapa de unidades geomorfológicas del anexo Subna.
- Mapa N°8. Mapa de cartografiado de peligros geológicos del anexo Subna.



SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Joto Jahuana
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Área urbana - Centro poblado Ayo

LEYENDA

Unidades litoestratigráficas

- Qh-pl, Depósito proluvial
- Qh-co-del, Depósito coluvio-deluvial
- Qh-co, Depósito coluvial
- Jm-pu, Formación Puente



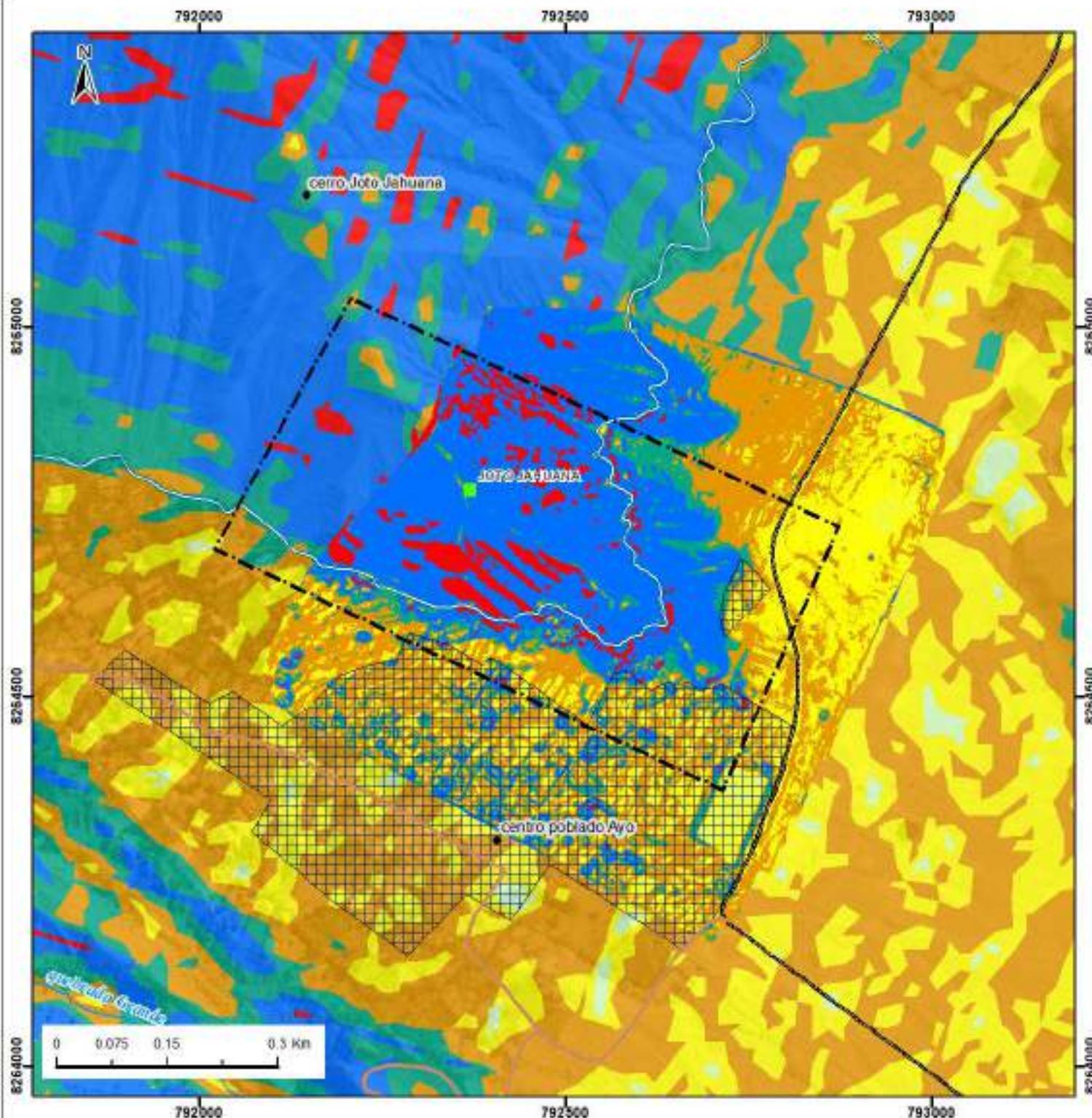
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Ayo

GEOLOGIA DEL SECTOR JOTO JAHUANA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Ccurimanya Bety	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	01
Versión digital 2023		



SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Joto Jahuana
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Área urbana - Centro poblado Ayo

LEYENDA

Pendiente (Grados)

- <1°, Llano
- 1° - 5°, Inclinación suave
- 5° - 15°, Moderado
- 15° - 25°, Fuerte
- 25° - 45°, Muy fuerte
- >45°, Muy escarpado



INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

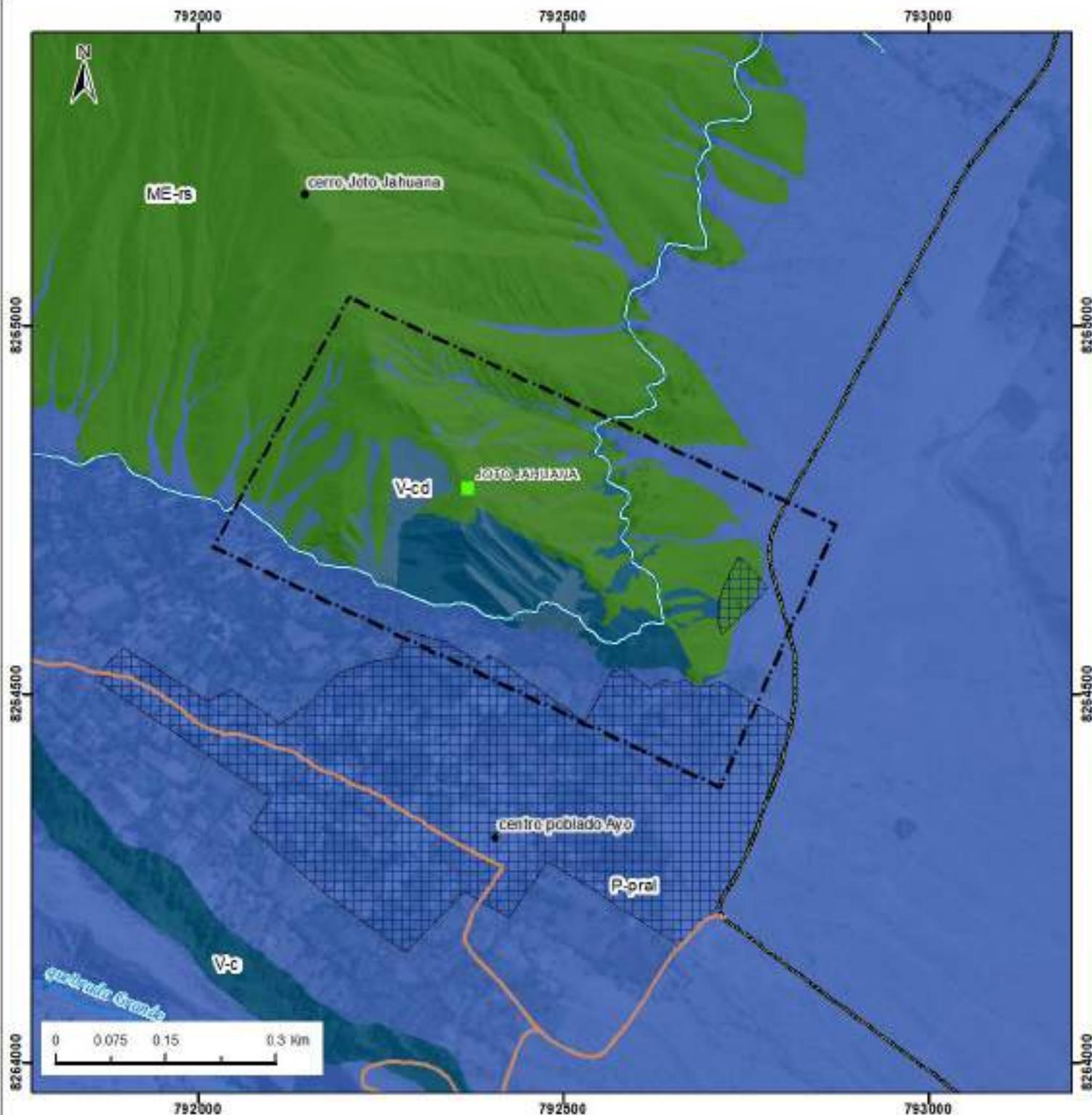
Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Ayo

**PENDIENTES DEL TERRENO DEL
SECTOR JOTO JAHUANA**

Escala: 1/7500 Elaborado por: Coorimanya Bety **MAPA**

Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84 **02**

Versión digital 2023



SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Joto Jahuana
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Área urbana - Centro poblado Ayo

LEYENDA

Unidades geomorfológicas

- P-pral, Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
- V-c, Vertiente coluvial
- V-cd, Vertiente coluviodeluvial
- ME-rs, Montaña estructural en roca sedimentaria



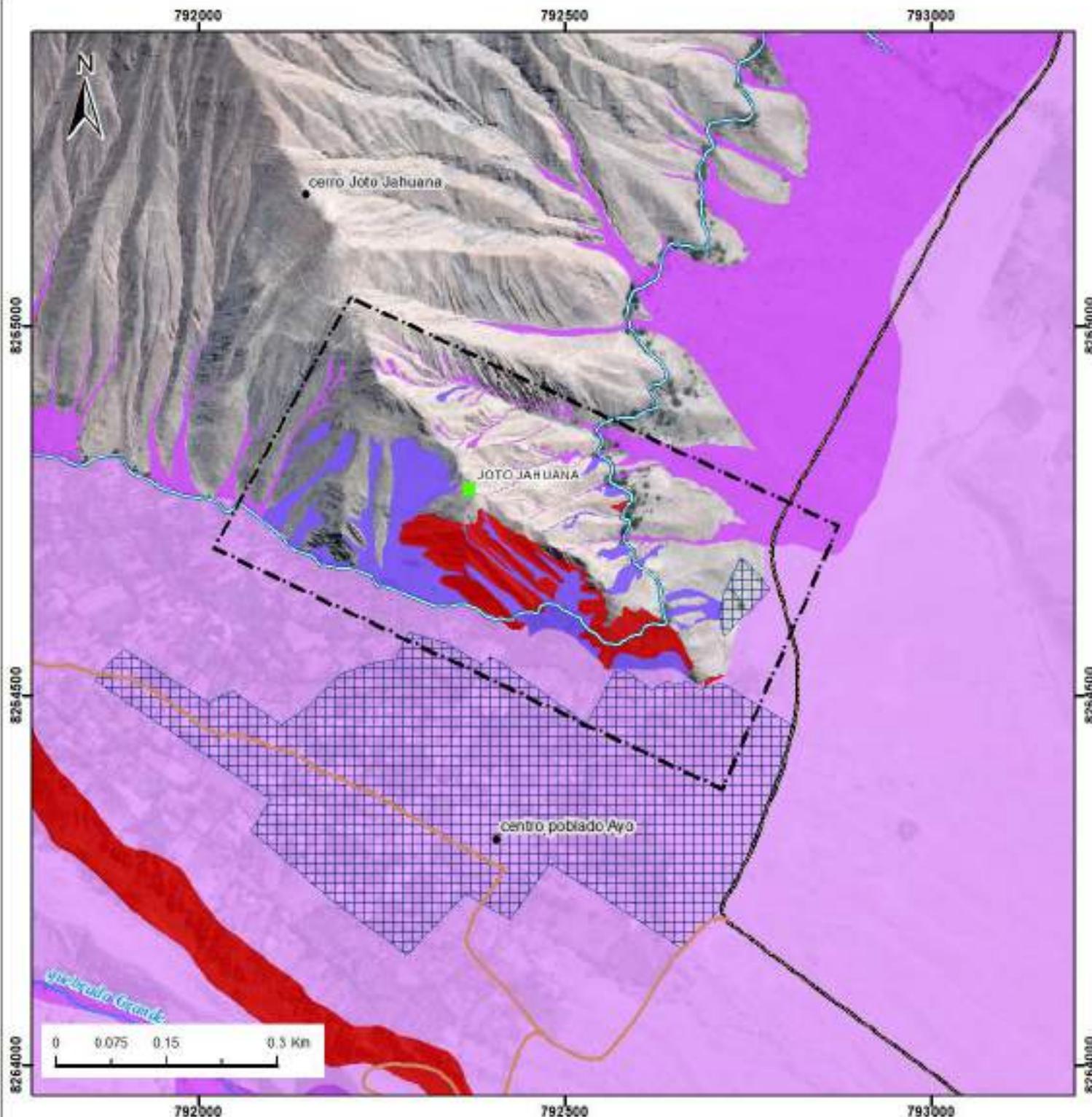
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Ayo

GEOMORFOLOGIA DEL SECTOR JOTO JAHUANA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Coomaryia Bely	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023		



SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Joto Jahuana
- Cerros
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Área urbana - Centro poblado Ayo

LEYENDA

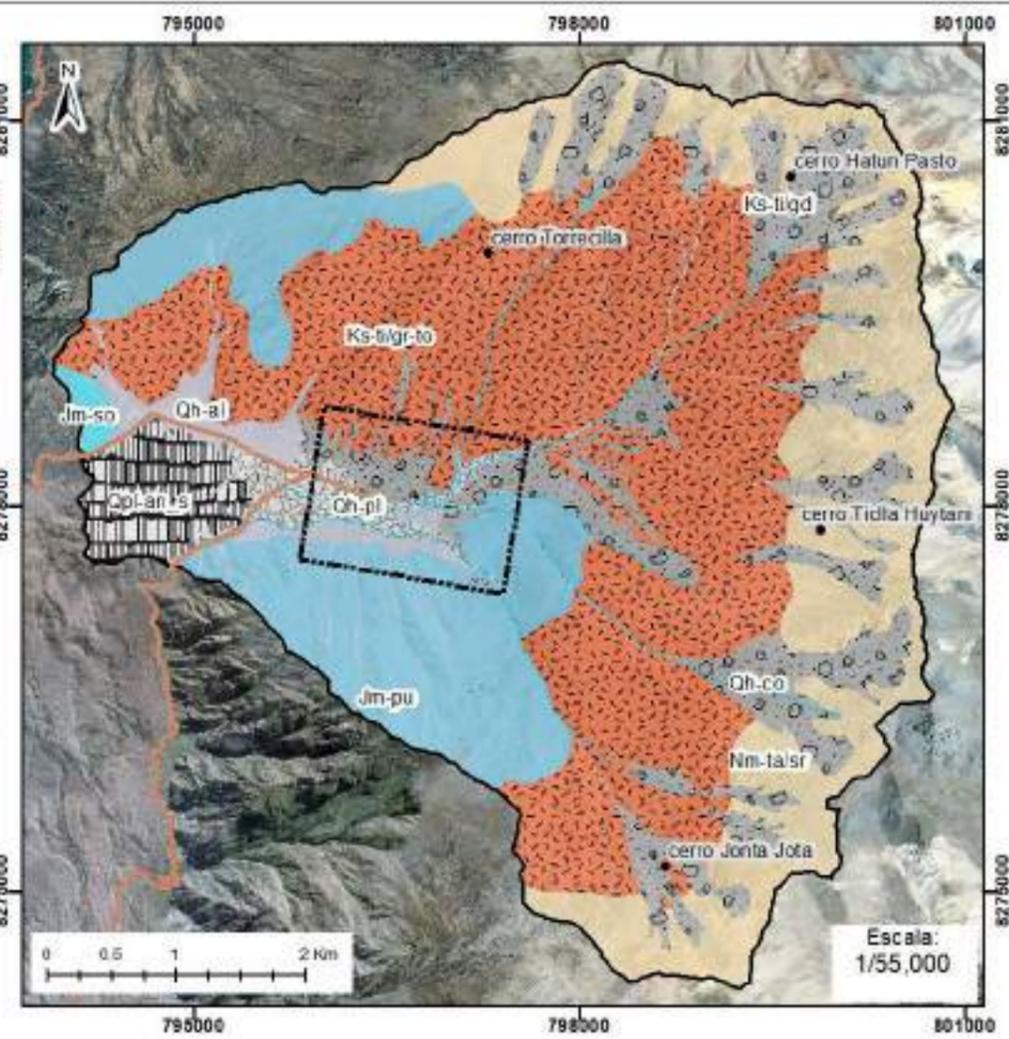
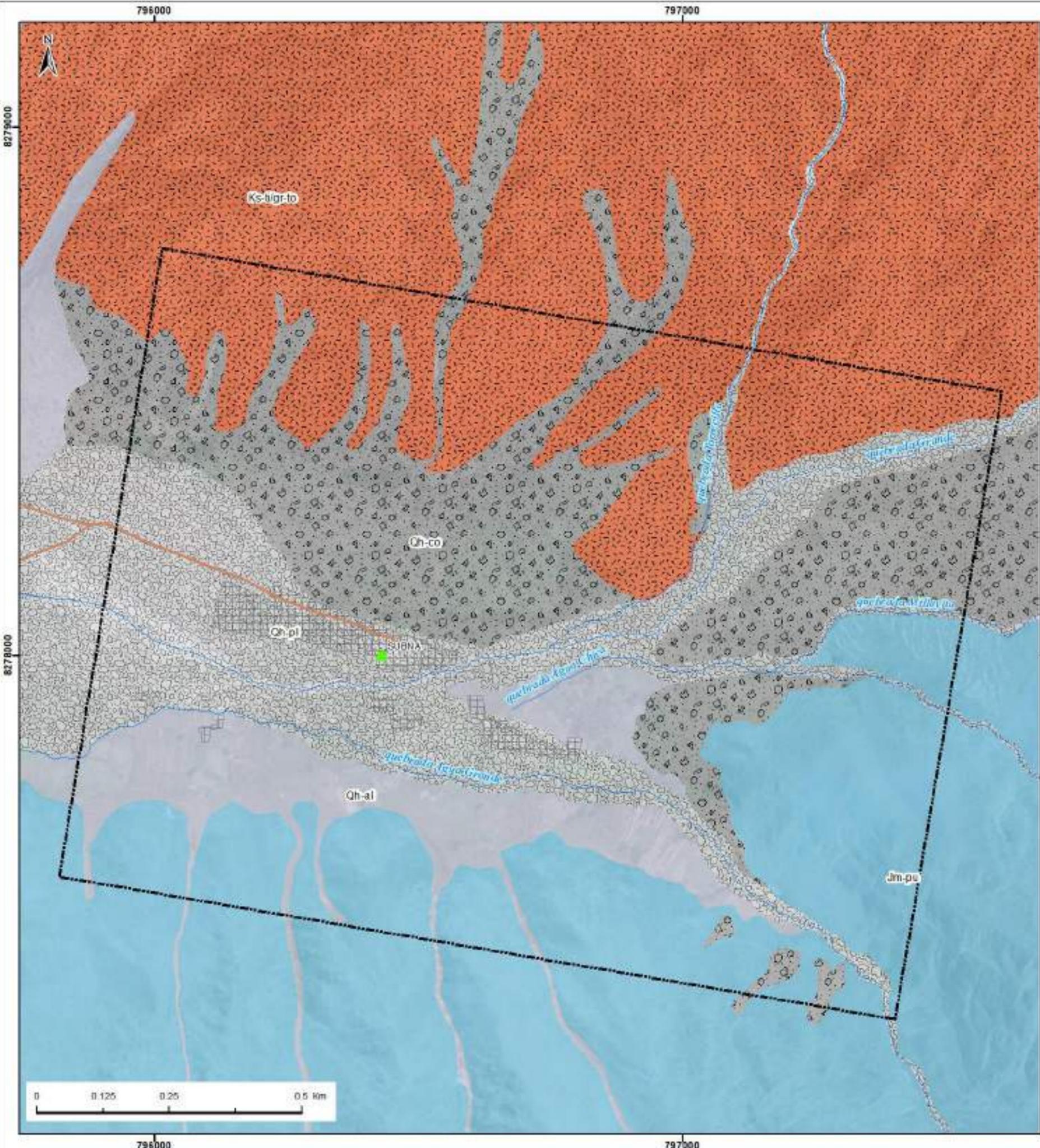
Peligros geológicos

- Caída de rocas
- Derrumbe - Reciente
- Avalancha de detritos - Reciente
- Flujo de detritos - Reciente
- Flujo de detritos - Antiguo


 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 Departamento Arequipa
 Provincia Castilla
 Distrito Ayo

CARTOGRAFIA DE PELIGROS DEL SECTOR JOTO JAHUANA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Coorimanya Bely	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	04
Versión digital 2023		



SIMBOLOGIA

	Cuenca_Subna
	Area de evaluacion - Anexo Subna
	Area urbana - Anexo Subna
	Sectores a evaluar
	Red vial vecinal
	Quebradas
	Red vial departamental

LEYENDA

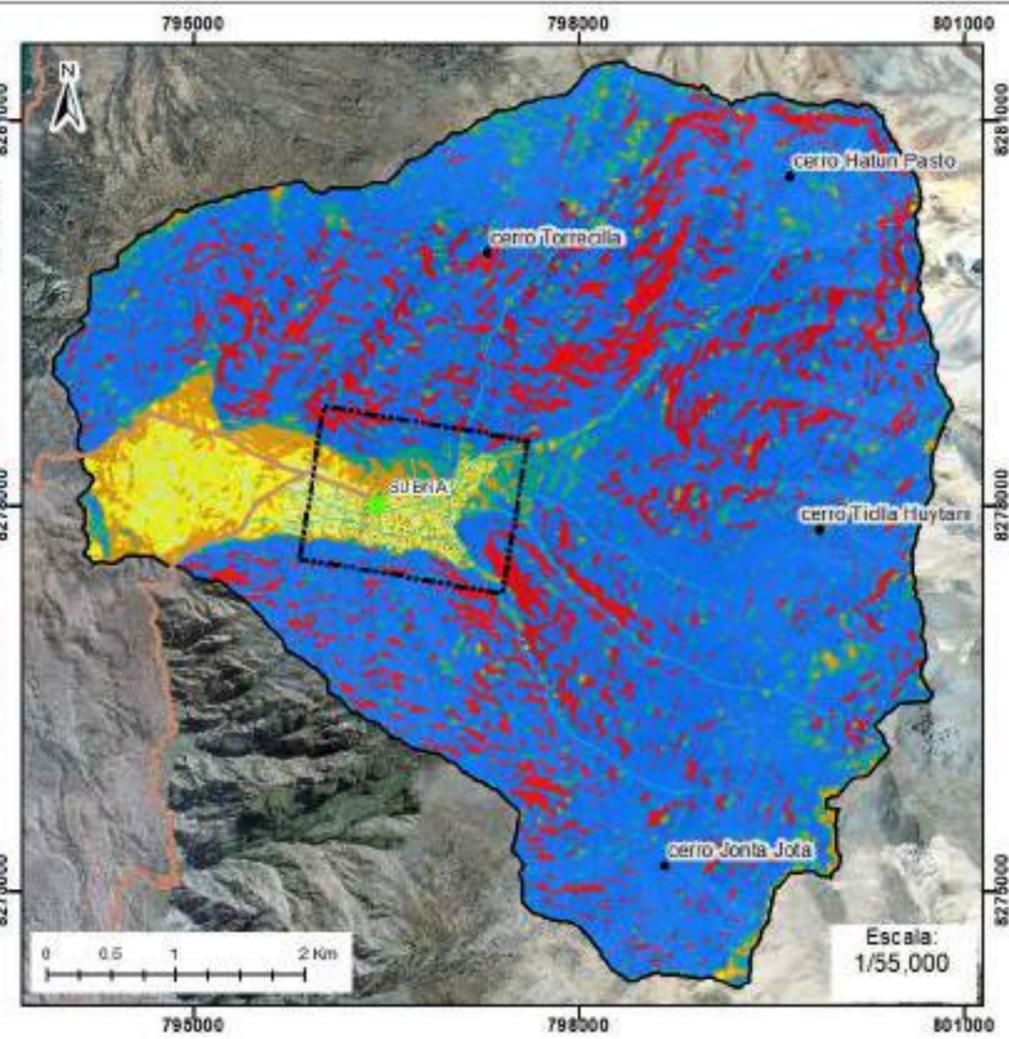
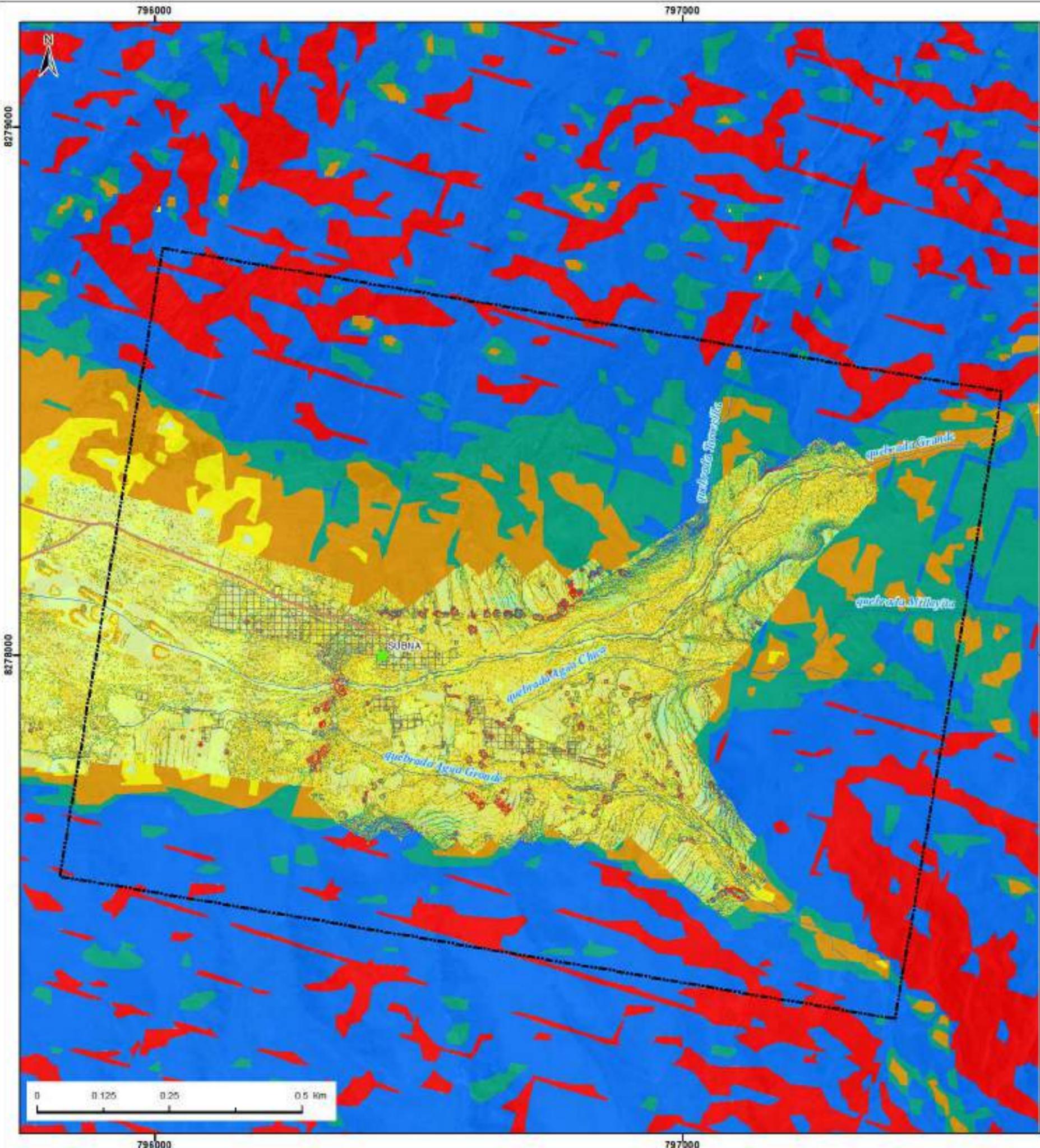
	Depósito Proluvial
	Depósito Coluvial
	Deposito Aluvial
	Flujos andesíticos a traquiandesíticos
	Fm. Orcopampa - Miembro Santa Rosa
	Superunidad Tiabaya, Granodiorita
	Superunidad Tiabaya, Granito, tonalita
	Fm. Puente
	Fm. Socosani


INGEMMET
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 Departamento Arequipa
 Provincia Castilla
 Distrito Ayo

GEOLOGIA DEL ANEXO SUBNA

Escala: 1/7500 Elaborado por: Coorimanya Bety	MAPA 05
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	



SIMBOLOGIA

- Cuenca_Subna
- Area de evaluacion - Anexo Subna
- Area urbana - Anexo Subna
- Sectores a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebradas
- Red vial departamental

LEYENDA

Pendiente (Grados)

- <1°, Llano
- 1° - 5°, Inclinacion suave
- 5° - 15°, Moderado
- 15° - 25°, Fuerte
- 25° - 45°, Muy fuerte
- >45°, Muy escarpado

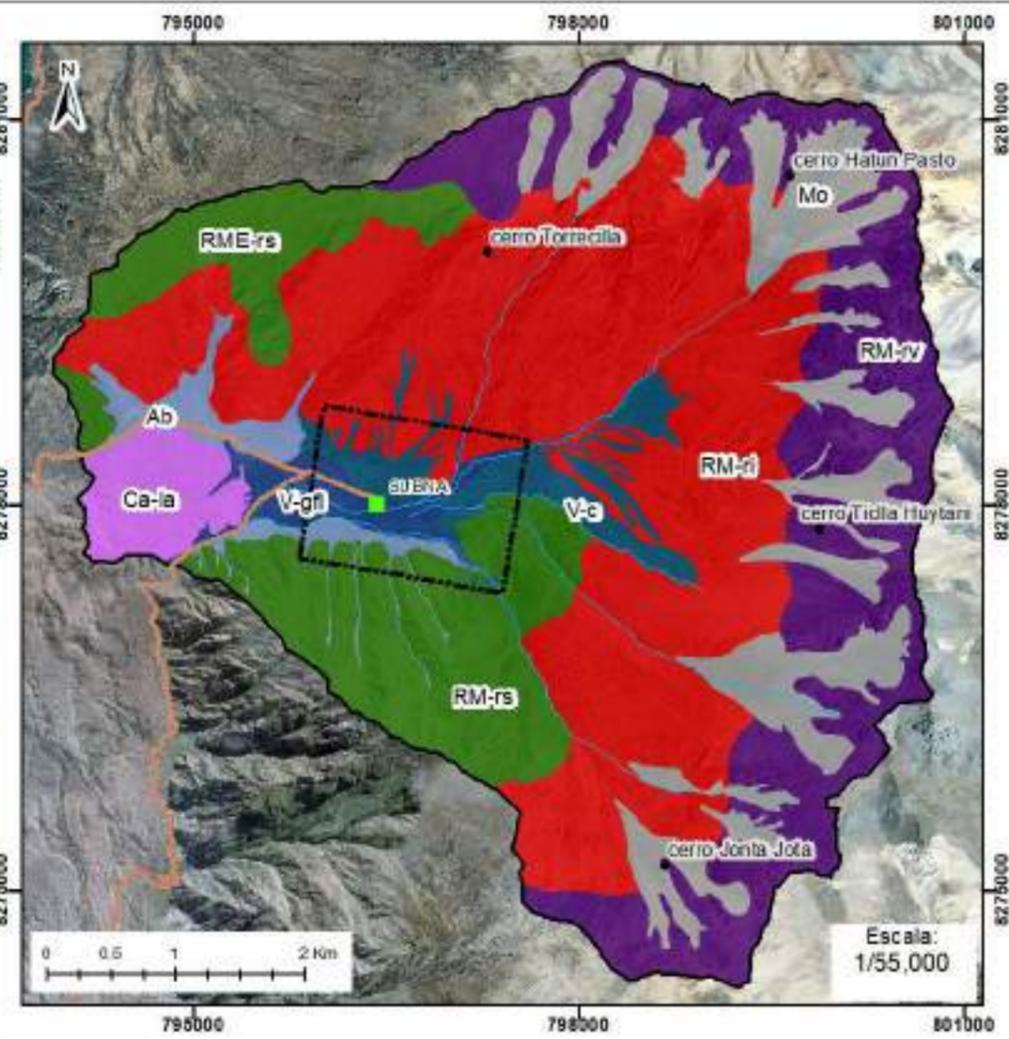
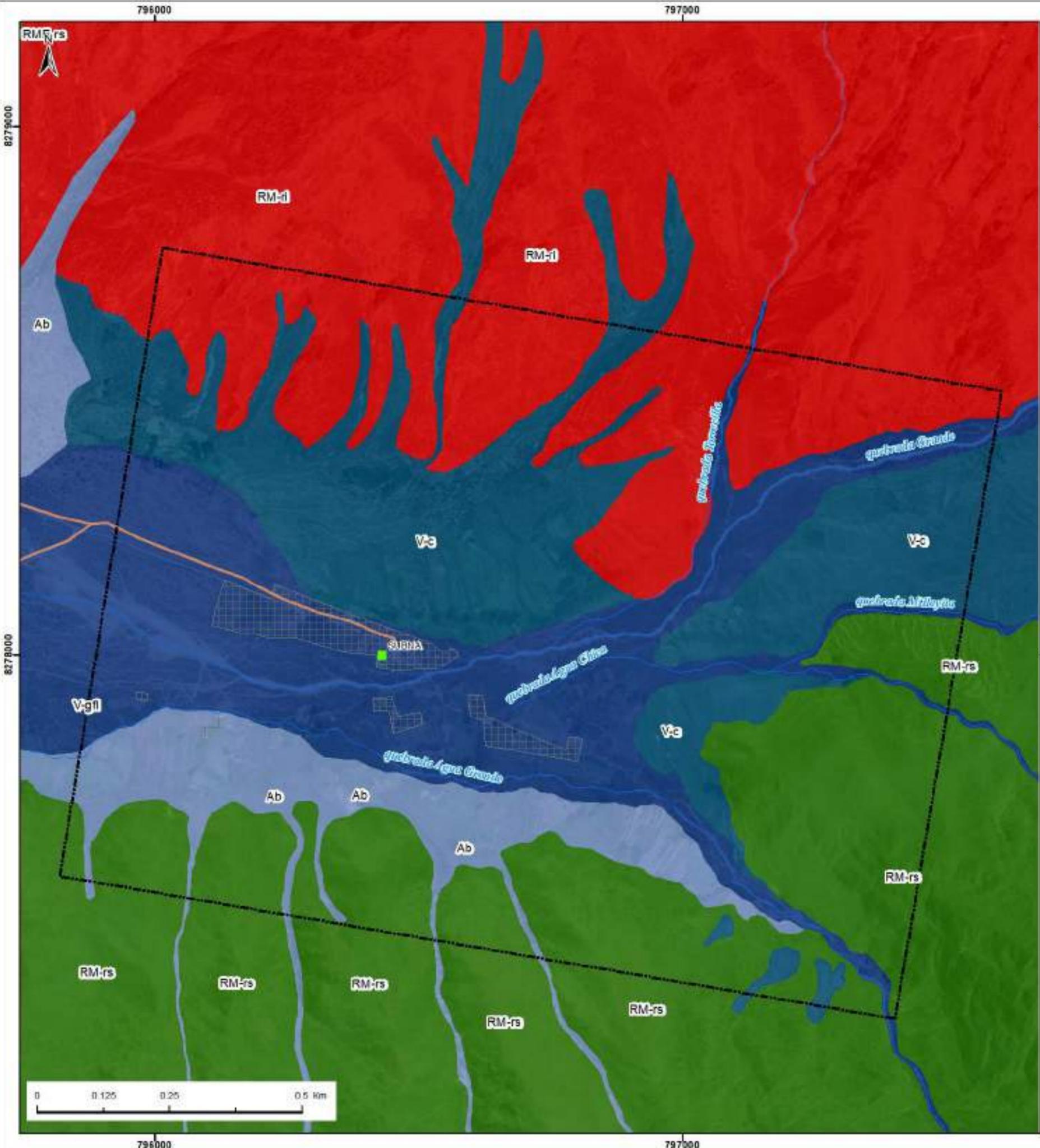
SECTOR ENERGIA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCION DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLOGICO

Departamento Arequipa
 Provincia Castilla
 Distrito Ayo

PENDIENTES DEL TERRENO DEL ANEXO SUBNA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Coorimanya Bety	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	06
Versión digital 2023		



SIMBOLOGIA

	Cuenca_Subna
	Area de evaluacion - Anexo Subna
	Area urbana - Anexo Subna
	Sectores a evaluar
	Red vial vecinal
	Quebradas
	Red vial departamental

LEYENDA

Unidades geomorfológicas

	Ca-la, Coladas de lavas basalto-andesíticas
	V-gf, Vertiente glacio-fluvial
	V-c, Vertiente coluvial
	Ab, Abanico de piedemonte
	Mo, Morrenas
	RM-rs, Montaña en roca sedimentaria
	RME-rs, Montaña estructural en roca sedimentaria
	RM-rv, Montaña en roca volcánica
	RM-i, Montaña en roca intrusiva

SECTOR ENERGÍA Y MINAS

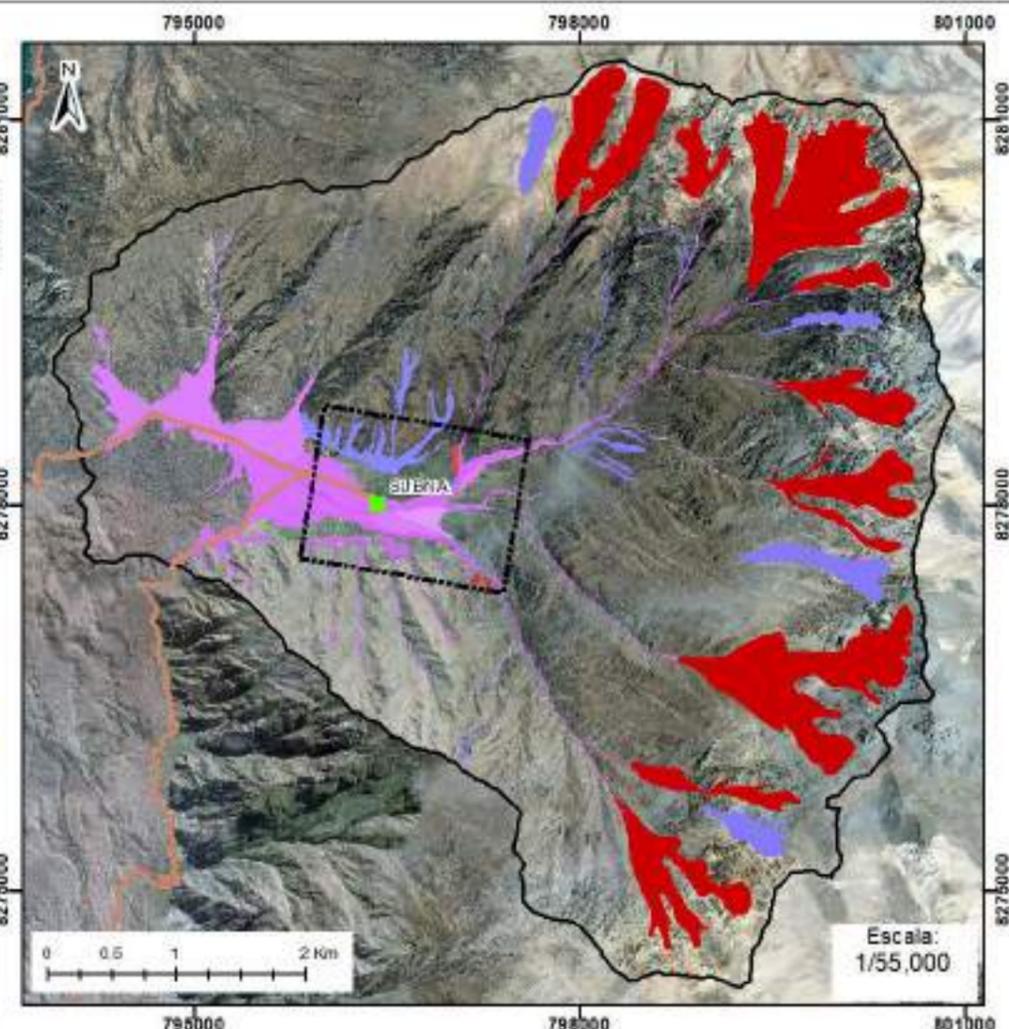
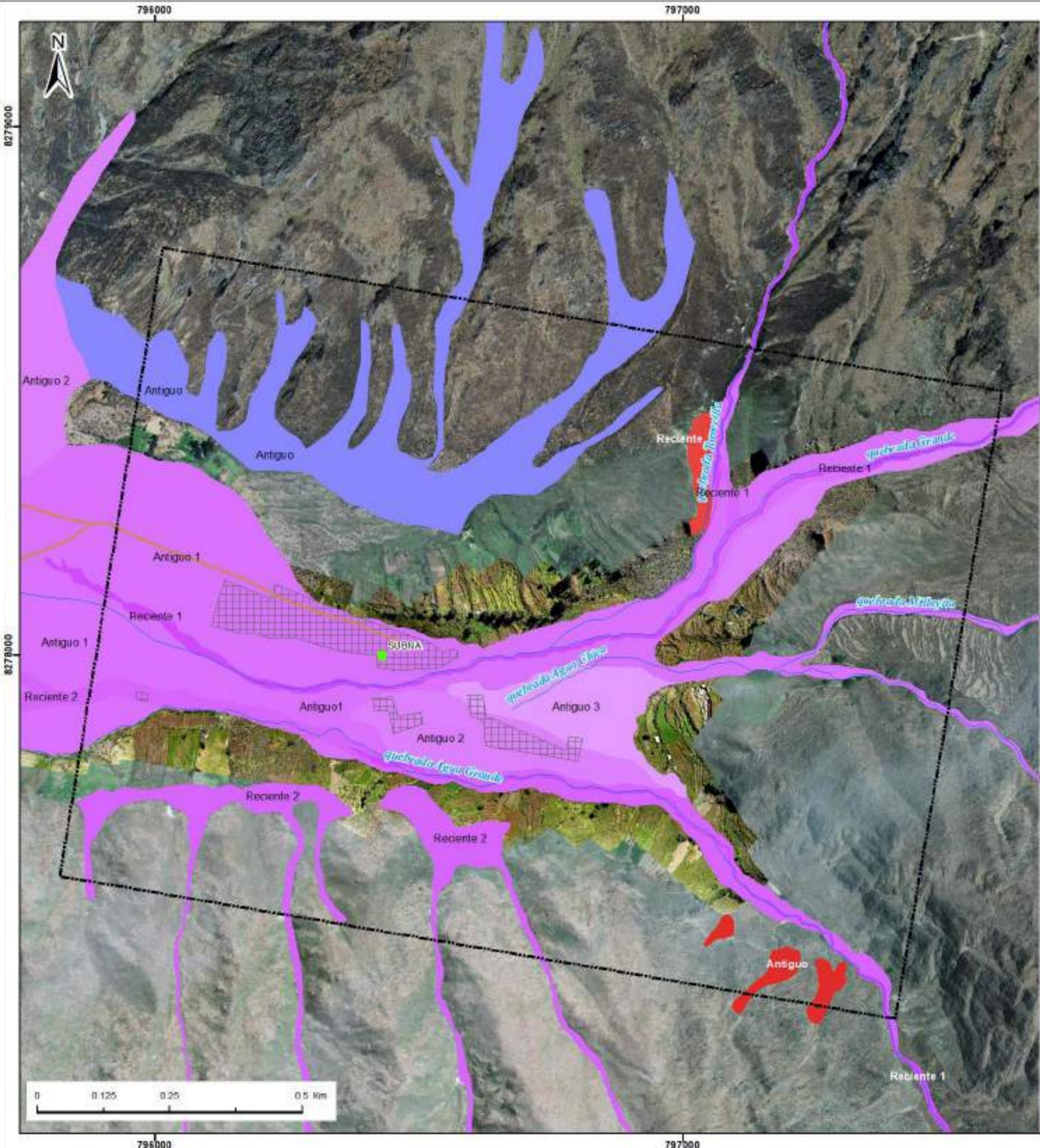
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa
 Provincia Castilla
 Distrito Ayo

GEOMORFOLOGIA DEL ANEXO SUBNA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Coorimanya Bety	MAPA 07
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023		



SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Anexo Subna
- Sectores a evaluar
- Red vial vacinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Cuenca Subna
- Área urbana - Anexo Subna

LEYENDA

Peligros geológicos

- Flujo de detritos, Reciente 1
- Flujo de detritos, Reciente 2
- Flujo de detritos, Antigua 1
- Flujo de detritos, Antigua 2
- Flujo de detritos, Antigua 3
- Avalancha de rocas, Antigua
- Avalancha de detritos, Antigua
- Calda de rocas
- Derrumbe, Reciente
- Derrumbe, Antigua

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa
 Provincia Castilla
 Distrito Ayo

CARTOGRAFIA DE PELIGROS DEL ANEXO SUBNA

Escala: 1/7500	Elaborado por: Coorimanya Bety	MAPA
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	08
Versión digital 2023		

ANEXO 02: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

a) Mitigación de peligros por flujos y caídas – Sector Joto Jahuana

Para disminuir los daños por flujos de detritos, avalancha de detritos, derrumbes y caídas de rocas, son necesarios aplicar las siguientes medidas:

Flujos de detritos:

- Replantear el trazo del canal de riego y mejorar la infraestructura del canal, optando por un sistema de riego entubado y soterrado.
- Construir puentes colgantes para acueductos en los cauces de las quebradas profundas como la quebrada Grande.



Figura 46. Ejemplo de un sistema de riego entubado.

Avalancha de detritos:

- Barrera dinámica de retención de detritos



Figura 47. Ejemplo de una barrera dinámica de retención de avalancha de detritos.

Caída de rocas:

Se pueden considerar las siguientes medidas estructurales:

- Mallas ancladas

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



Figura 48. Ejemplo de mallas ancladas para caídas de rocas.

- Barreras dinámicas

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

Las barreras de geometría variable son constituidas por un sistema complejo de paneles en cable y red metálica de doble torsión para la contención de rocas de dimensiones menores, cables de acero conectados a elementos estructurales, dispositivos de disipación y de anclaje, caracterizadas por su alta capacidad de deformación en condición de garantizar la absorción de altas energías (normalmente en un rango de 250-3000 kJ), figura 49.



Figura 49. Ejemplo de barreras dinámicas para caídas de rocas.

b) Mitigación de peligros por flujo de detritos – Anexo Subna

Para disminuir los daños por flujos de detritos, son necesarios aplicar las siguientes medidas:

Flujos de detritos:

- Canalizar el cauce principal del lecho de las quebradas Grande y Agua Grande.
- Construir diques rígidos transversales de contención. En su mayoría los diques de contención cerrados están diseñados como diques de gravedad, con una amplia variedad de diseños estructurales. Por lo general, series de represas de control se construyen y espacian regularmente a lo largo del cauce del canal. La suavización de la pendiente debido a la represa de control induce una reducción de la velocidad de flujo con lo que la sedimentación es forzada y tiende a reducir la velocidad del torrente.
- Construir canales de desviación para evacuar volúmenes de los flujos de detritos (Huaicos)
- Estas obras de infraestructura deben realizarse en el corto a mediano plazo y contar con trabajos de descolmatación del cauce periódicamente, así como obras de defensa ribereña contra la erosión (enrocados, gaviones o muros de concreto) ya mencionados.



Figura 50. Ejemplo de obras de canalización.



Figura 51. Ejemplo de diques escalonado de hormigón.