

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7424**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES SAMANA Y SILCO

Departamento Arequipa  
Provincia Castilla  
Distrito Ayo



SETIEMBRE  
2023

## **EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LOS SECTORES SAMANA Y SILCO**

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 los sectores Samana y Silco, distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa*. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7424, 47 p.

RESUMEN.....	5
1. INTRODUCCION.....	5
1.1. Objetivos del estudio .....	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
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. Grupo Yura.....	13
3.1.2. Depósitos Coluviales (Qh-co).....	15
3.1.3. Depósitos Proluviales (Qh-pl).....	16
4. ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS .....	17
4.1. Pendientes del terreno .....	17
4.2. Unidades Geomorfológicas .....	19
4.2.1. Unidad de montañas .....	19
4.2.2. Unidad de piedemonte .....	20
5. PELIGROS GEOLOGICOS .....	22
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Samana.....	22
5.1.1. Deslizamiento traslacional.....	22
5.1.2. Avalancha de detritos .....	24
5.1.3. Flujo de detritos .....	25
5.1.4. Otros peligros geológicos - Erosión de ladera en cárcavas .....	26
5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Silco .....	27
5.2.1. Flujo de detritos .....	27
5.2.2. Avalancha de detritos .....	29
5.2.3. Derrumbe .....	29
5.2.4. Otros peligros geológicos - Erosión de ladera en cárcavas .....	30
5.3. Factores condicionantes.....	31
5.4. Factores desencadenantes .....	32
6. CONCLUSIONES .....	33
6.1. Sector Samana.....	33
6.2. Sector Silco .....	33
7. RECOMENDACIONES .....	35

8. BIBLIOGRAFIA.....	36
ANEXO 01: MAPAS.....	37
ANEXO 02: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	44



## RESUMEN

El presente informe, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en los sectores Samana y Silco, pertenecientes 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.

En el sector evaluado de Samana, afloran areniscas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; además se tienen lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas. El terreno presenta pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) a muy escarpadas ( $>45^{\circ}$ ), son factores condicionantes para la generación de deslizamientos, avalancha de detritos y flujo de detritos; los eventos mencionados afectan al canal de riego que encuentra a lo largo de la margen izquierda de la quebrada Jollpa.

El principal peligro geológico en el sector de Samana son los deslizamientos de tipo traslacional progresivo y actividad suspendida. En el sector existen tres deslizamientos D1 (Longitud de corona 167 m y salto de escarpe 17 m), D2 (Longitud de corona 277 m y salto de escarpe 20 m) y D3 (Longitud de corona 184 m y salto de escarpe 50 m). De reactivarse los deslizamientos dañarían la infraestructura del canal de riego del sector Samana y llegarían a represar la quebrada Jollpa, su desembalse afectaría la población del centro poblado de Ayo. Por lo antes mencionado, el sector Samana se considera de **Peligro Alto a Muy Alto**.

El sector Silco se encuentra sobre depósitos proluviales conformados por gravas (50%), bloques (35%) con tamaños máximos de hasta 1 metro en matriz areno-limoso-arcilloso; forman terrazas con alturas de hasta 70 metros. Estos depósitos se caracterizan por estar poco compactos, lo que permite la infiltración del agua. Las laderas de la quebrada Silco presentan pendientes muy fuertes a muy escarpadas ( $25^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  y  $>45^{\circ}$ ).

En esta zona se pueden formar peligros de tipo avalancha de detritos, flujo de detritos, derrumbes y erosión de ladera en cárcavas. Los principales peligros geológicos que afectan la captación y tramo inicial del recorrido del canal de riego son los flujos de detritos y las erosiones de laderas en cárcavas, con longitudes promedio de 65 metros, profundidad promedio 5 metros y ancho promedio de 9.5 metros.

Por lo señalado anteriormente, la captación e infraestructura del canal de riego del sector Silco se considera de **Peligro Alto**.

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 el Oficio N° 080-2023-MDA-AYO-A del distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa, solicita 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 Yeny Bety Ccorimanya Chalco y Yhon Hidelver Soncco Calsina, para que realicen la evaluación de peligros geológicos en los sectores Samana y Silco, la cual se llevó a cabo los días 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.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital Ayo, Gobierno Regional de Arequipa e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

### 1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que ocurren en los sectores Samana y Silco 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 el trabajo de campo.

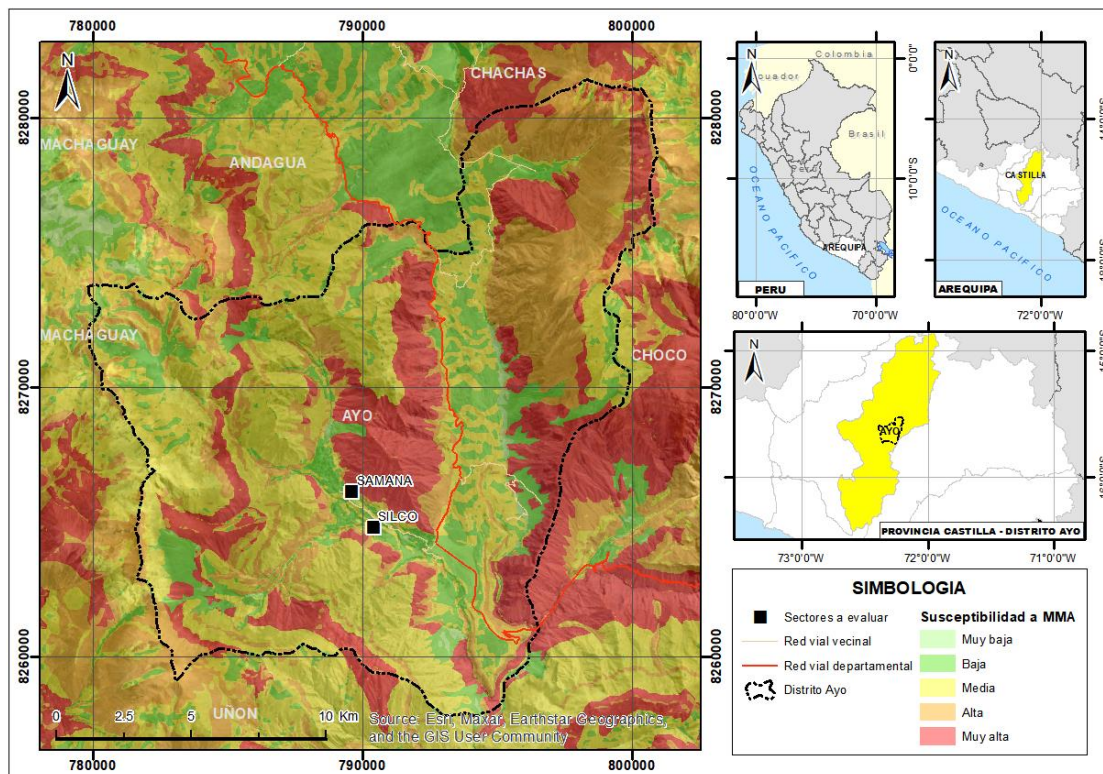
## 1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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.

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 Samana y Silco, se encuentran en Baja, Alta y Muy Alta susceptibilidad a los Movimientos en Masa.

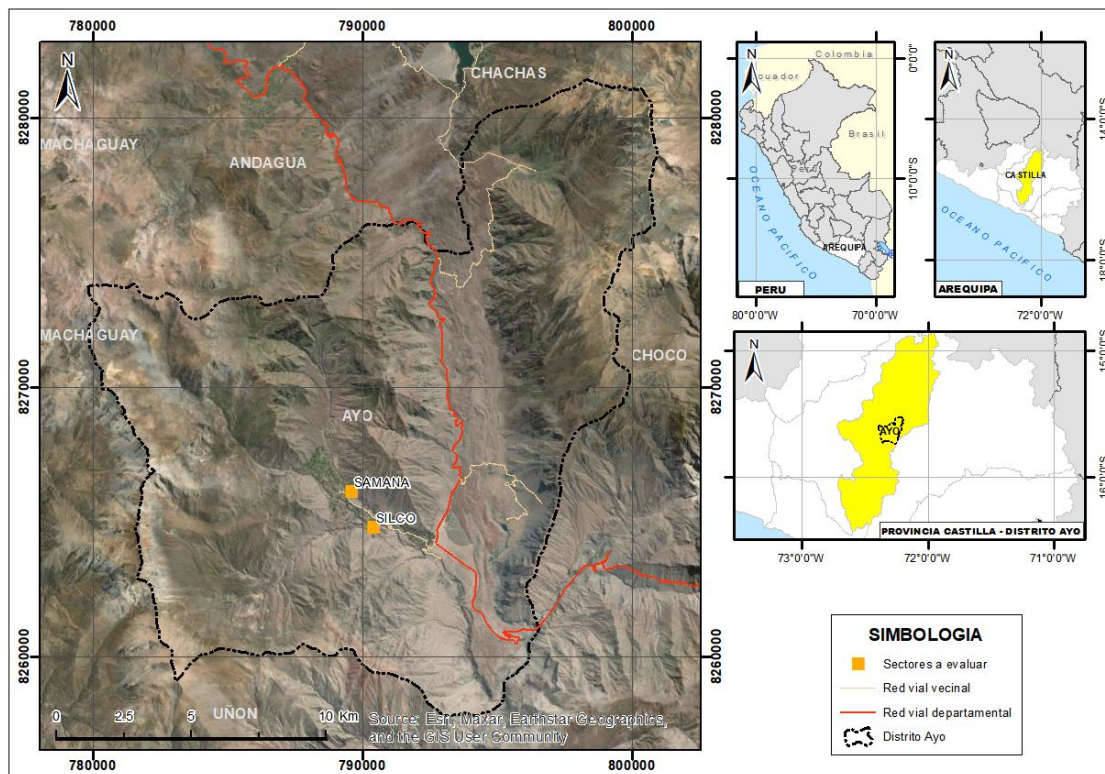
### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

Los sectores Samana y Silco, se ubican en el distrito Ayo, provincia Castilla, departamento Arequipa (Figura 2), se encuentra en las siguientes 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 Samana	789603.94 m E	8266119.64 m S	15°39'59.06" S	72°17'54.62" W
Sector Silco	790418.01 m E	8264790.60 m S	15°40'41.93" S	72°17'26.74" W



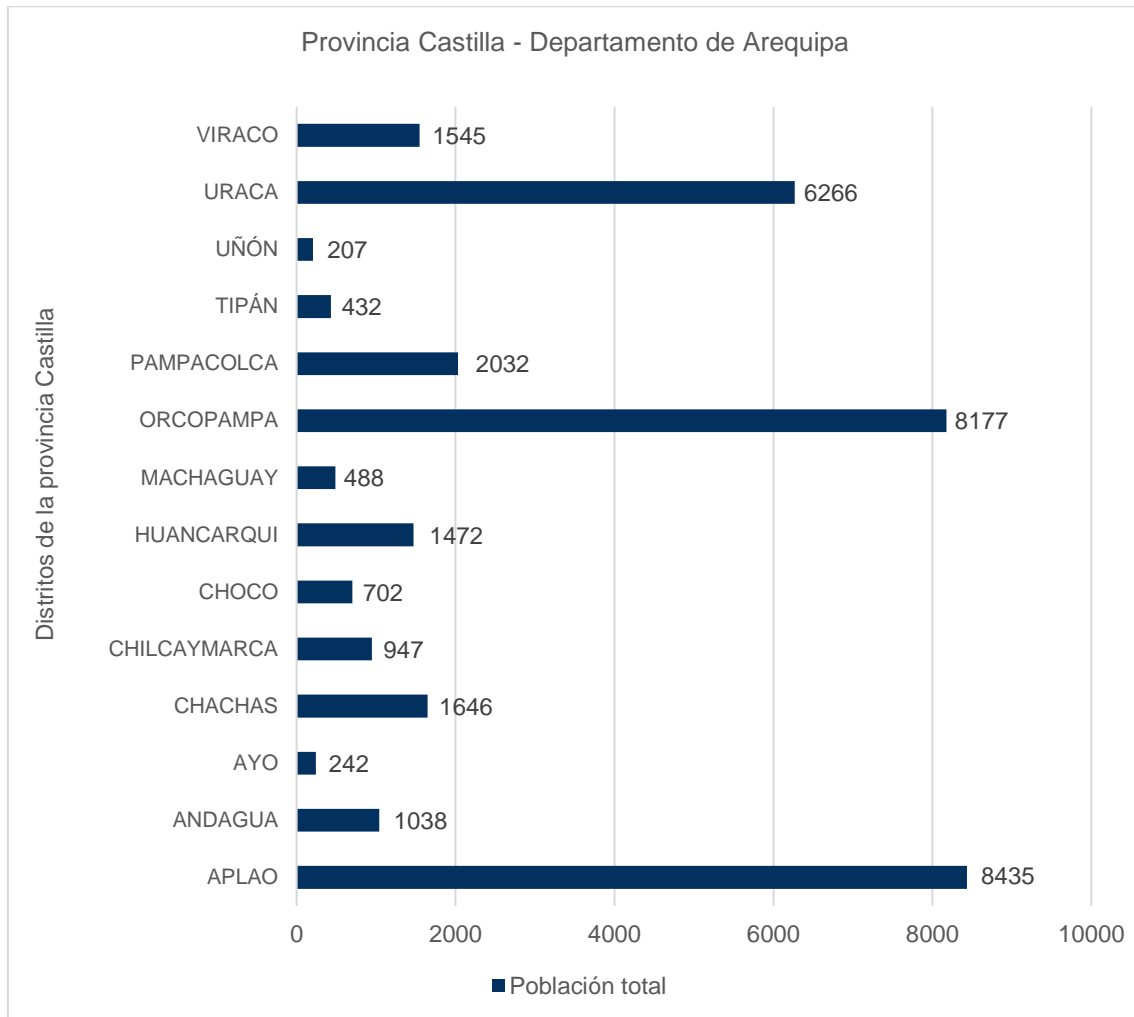
**Figura 2.** Ubicación del área de evaluación.

#### 1.3.2. Población

De acuerdo con el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el distrito de Ayo cuenta con una población total de 242 habitantes entre hombres (136) y mujeres (106) distribuidos en 204 viviendas

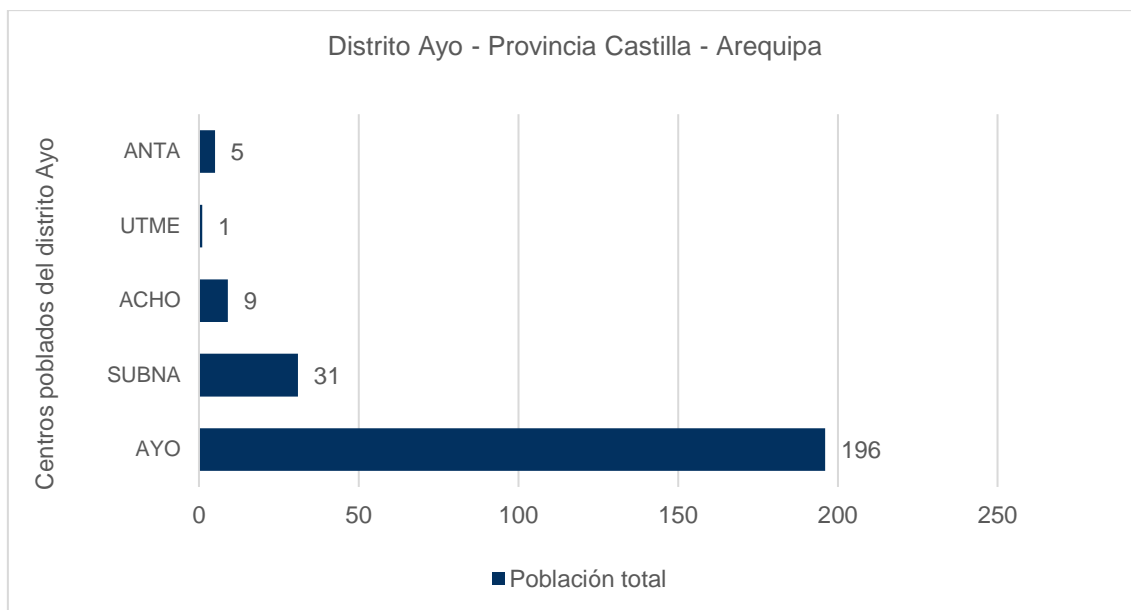


particulares. De estas, 195 viviendas se encuentran ocupadas y 9 desocupadas. (Figura 3).



**Figura 3.** Población total de los distritos de la provincia Castilla, departamento Arequipa. **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, la Figura 4 representa la cantidad de habitantes por centros poblados del distrito de Ayo. (Figura 4).



**Figura 4.** Población total de los centros poblados del distrito de Ayo, provincia Castilla - Arequipa.

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

### 1.3.3. Accesibilidad

El acceso a los sectores de Samana y Silco del distrito de Ayo se realizó desde el Observatorio Vulcanológico del Ingemmet OVI-Arequipa por vía terrestre, mediante la ruta mencionada en el cuadro 1:

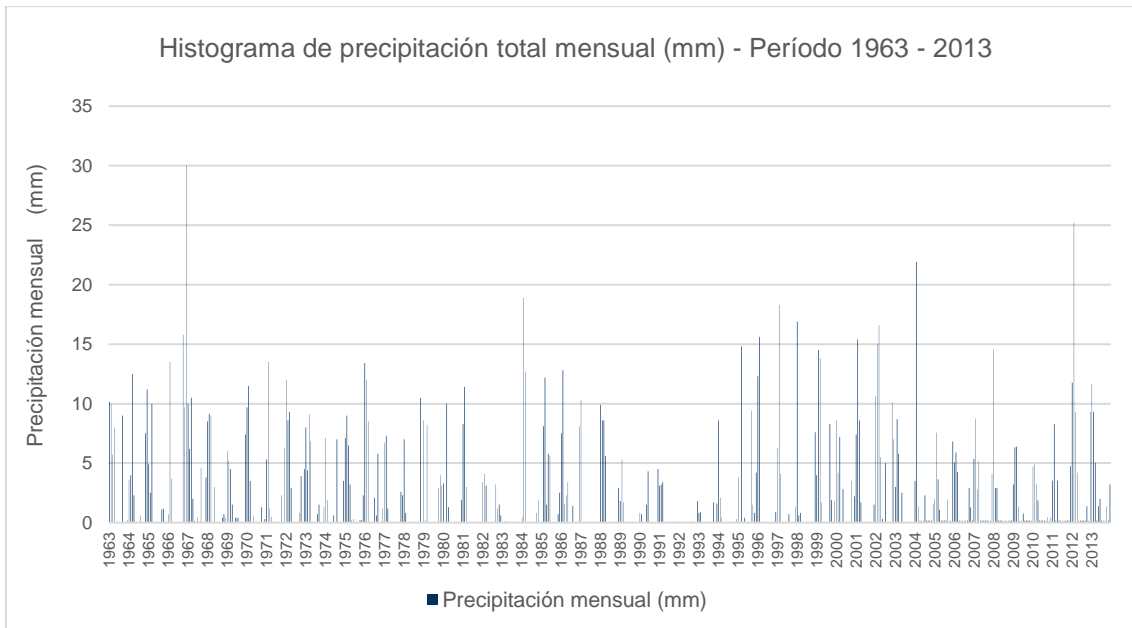
**Cuadro 1.** Rutas de accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Ayo (sector Samana)	Carretera asfaltada / trocha carrozable	364	7 h 30 min
Arequipa – Ayo (sector Silco)	Carretera asfaltada / trocha carrozable	362	7 h 20 min

### 1.3.4. Clima

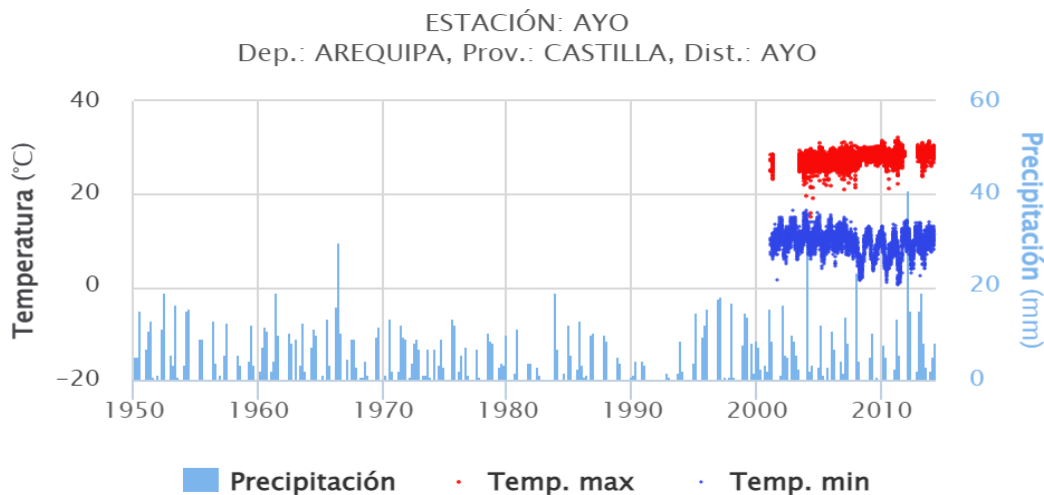
Los sectores de Samana y Silco cuentan con un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, templado – E(d)B', con temperaturas máximas entre 19 °C a 31 °C y mínimas entre 3 °C y 21 °C.

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 mas intensa ocurre entre diciembre y marzo. La Figura 5 permite examinar con qué frecuencia se producen anomalías en la lluvia que provocan la erosión del suelo .



**Figura 5.** Histograma de precipitaciones totales mensuales en mm, estación Ayo: 1963 – 2013.

**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.

**Relicto:** Movimiento en masa que claramente ocurrió bajo condiciones geomórficas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varnes, 1996).

**Suspendido:** Movimiento en masa que se desplazó durante el último ciclo anual de las estaciones climáticas, pero que en el momento no presenta movimiento (Varnes, 1978).

**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

La geología local, se desarrolló teniendo 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), complementándose con trabajos de fotointerpretación de imágenes satelitales, vuelos de dron y observaciones en campo, con lo que finalmente se elaboró el mapa geológico del presente informe (Anexo 1- Mapa 1).

#### 3.1. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a ambientes marinos transgresivos (Grupo Yura) y depósitos cuaternarios – Holocenos de origen coluvial y proluvial (Mapa 01 del Anexo 01).

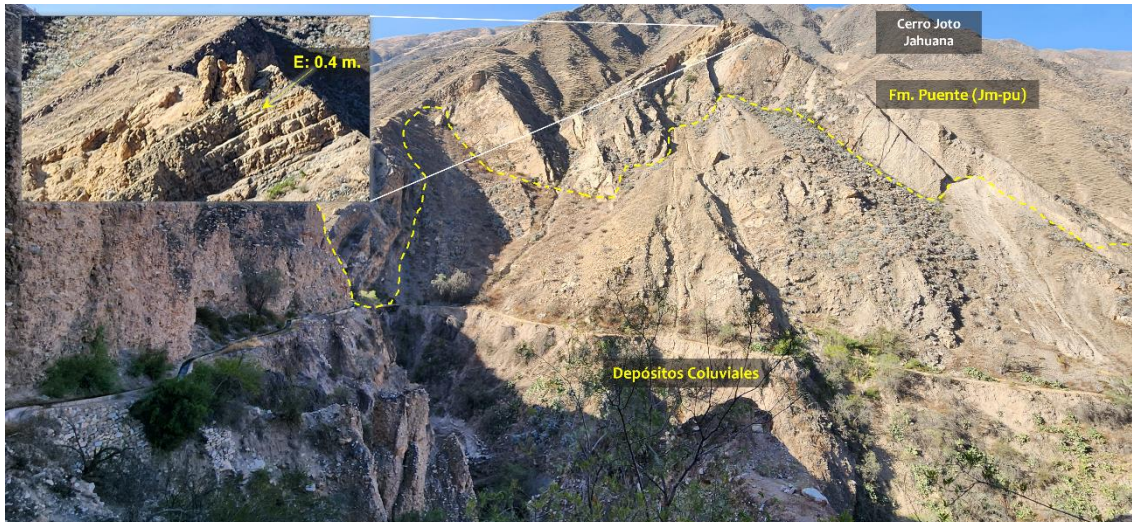
##### 3.1.1. Grupo Yura

###### 3.1.1.1. Formación Puente (Jm-pu)

Según el cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r), esta Formación se compone de turbiditas y depósitos de prodelta. La litología de la Formación está compuesta por areniscas grises y pardas intercaladas con lutitas y calizas margosas. La Formación Puente es parte inferior del Grupo Yura (Caldas Vidal, Julio, 1993).

En el sector de Samana, la Formación Puente (Figura 7) aflora extensamente a lo largo del flanco Oeste del cerro Joto Jahuana (Anexo 1- Mapa 1). Se observan rocas de areniscas pardas de tonos amarillentos, moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Además, se encuentran lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas.

Por las malas condiciones geotécnicas del terreno, se han formado deslizamientos, avalancha de detritos y flujo de detritos en la vertiente de la montaña Joto Jahuana que se encuentra a lo largo de la margen izquierda de la quebrada Jollpa.



**Figura 7.** Sustrato rocoso de la Formación Puente – Sector Samana. Se observan afloramientos de areniscas pardas que están moderadamente meteorizadas y tienen estructuras medianamente fracturadas con espaciamentos entre 0.3 a 1 m.

### 3.1.1.2. Formación Cachíos (Jm-ca)

Según el cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r), esta Formación destaca por su tonalidad gris oscura y uniformidad litológica, está constituida por lutitas de tonos brunáceos que intercalan con capas de areniscas y limolitas de tonalidades beige, con variaciones de coloraciones a blanquecinas (Caldas Vidal, Julio, 1993).

La Formación Cachíos aflora en el sector Silco (Figura 8) como areniscas color gris oscuro con variaciones de coloraciones a blanquecinas. Las areniscas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Además, se tienen limolitas y lutitas moderadamente meteorizadas y fragmentadas. Por lo mencionado, estas características facilitan las erosiones de las laderas de la montaña que generan flujos como avalancha de detritos y flujo de detritos.

### 3.1.1.3. Formación Labra (Js-la)

De acuerdo con el cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r), esta Formación se encuentra compuesta por areniscas gris claras con variaciones a tonalidades rosadas y tintes amarillentos. Los bancos de areniscas en los niveles superiores están interestratificados con paquetes de limolitas grises a brunáceas; y los niveles inferiores consisten en lutitas carbonosas (Caldas Vidal, Julio, 1993).

En el sector de Silco, la Formación Labra (Figura 8) aflora como rocas de areniscas de color gris claro con variaciones a tonalidades rosadas. Las areniscas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. Además, se encuentran lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas. Por lo mencionado, estas características facilitan las erosiones de las laderas de la montaña que generan flujos.

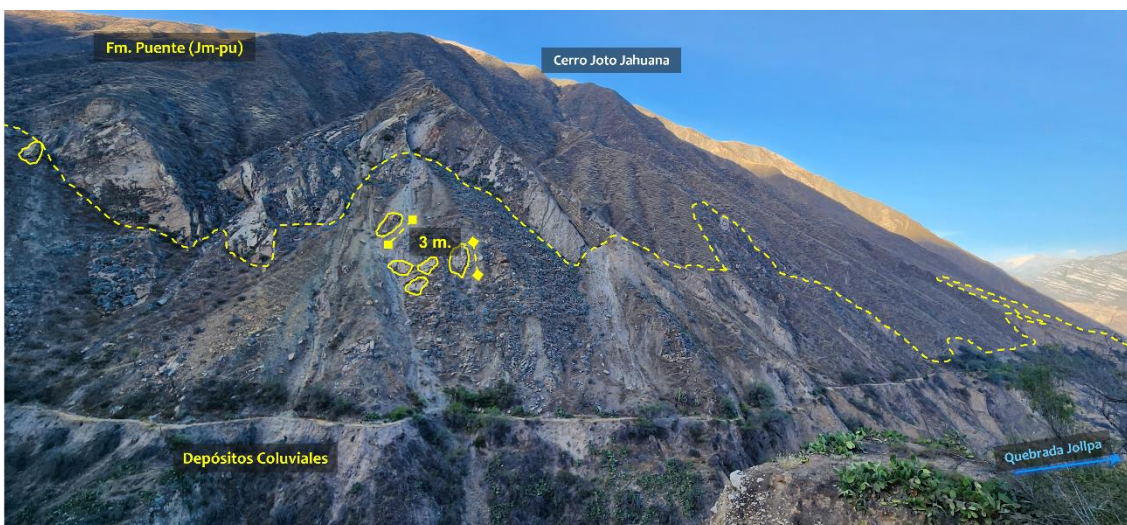




**Figura 8.** Formaciones Cachíos y Labra – Sector Silco. Se observan afloramientos del sustrato rocoso de la Formación Cachíos y Formación Labra de areniscas, limolitas y lutitas en los cerros de la margen derecha de la quebrada Silco.

### 3.1.2. Depósitos Coluviales (Qh-co)

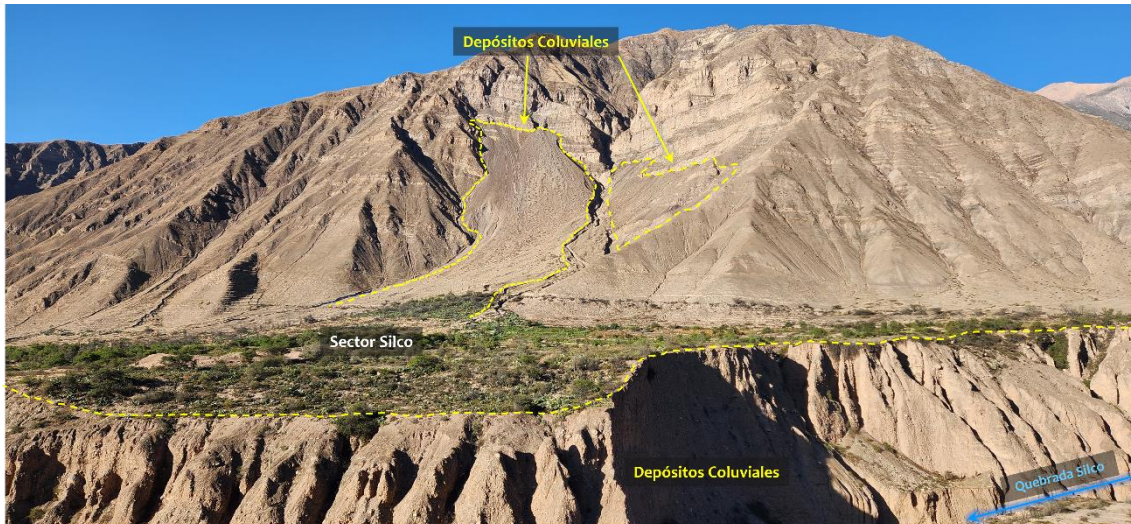
En el sector de Samana (Figura 9), estos depósitos se encuentran adosados en las laderas del flanco Oeste del cerro Joto Jahuana y están compuestos por fragmentos de rocas angulosas, conformado por bloques con tamaños máximos de hasta 3 m, gravas, dentro de una matriz limo arenoso. Estos depósitos son producto de deslizamientos traslacionales, avalancha de detritos y erosión de ladera en cárcavas en la quebrada Jollpa.



**Figura 9.** Depósitos coluviales – sector Samana. Se encuentran en las laderas del flanco Oeste del cerro Joto Jahuana.



En el sector de Silco (Figura 10), estos depósitos se observan en las laderas de montaña como depósitos no consolidados, productos de la avalancha de detritos de los fragmentos de roca de las montañas adyacentes, derrumbes y erosión de ladera en cárcavas en la quebrada Silco. Estos depósitos en las laderas de la quebrada Silco están compuestos por fragmentos de rocas angulosas en matriz areno-limo-arcilloso.



**Figura 10.** Depósitos coluviales – sector Silco. Se observan depósitos coluviales como resultado de la avalancha de detritos y erosión de laderas en cárcavas.

### 3.1.3. Depósitos Proluviales (Qh-pl)

Los depósitos proluviales en Samana se encuentran no consolidados y provienen de flujos de detritos (huaicos) que se dieron en las quebradas Grande y Jollpa (Figura 11). Los depósitos no tienen ninguna selección, son una mezcla heterogénea de fragmentos de rocas con diferentes tamaños y de formas angulosas a subredondeadas, alcanzando alturas hasta 65 metros, forman terrazas. Están conformados por bloques (40%) con tamaños máximos de hasta 1.5 metros, gravas (40%) y matriz areno-limo-arcilloso (20%).



**Figura 11.** Sector Samana, se muestra los depósitos proluviales conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1.5 m, gravas en matriz areno-limo-arcillosa. Vista de la margen derecha de la quebrada Jollpa.



En el sector de Silco están conformados por bloques (35%) con tamaños máximos de hasta 1 metro, gravas (50%) englobados en matriz areno-limo-arcilloso (15%). Los elementos de estos depósitos provienen de flujos de detritos (huaicos) que se dieron en las quebradas Silco y Grande, no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de formas angulosas a subredondeadas, forman terrazas que alcanzan alturas hasta 70 metros. (Figura 12).

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



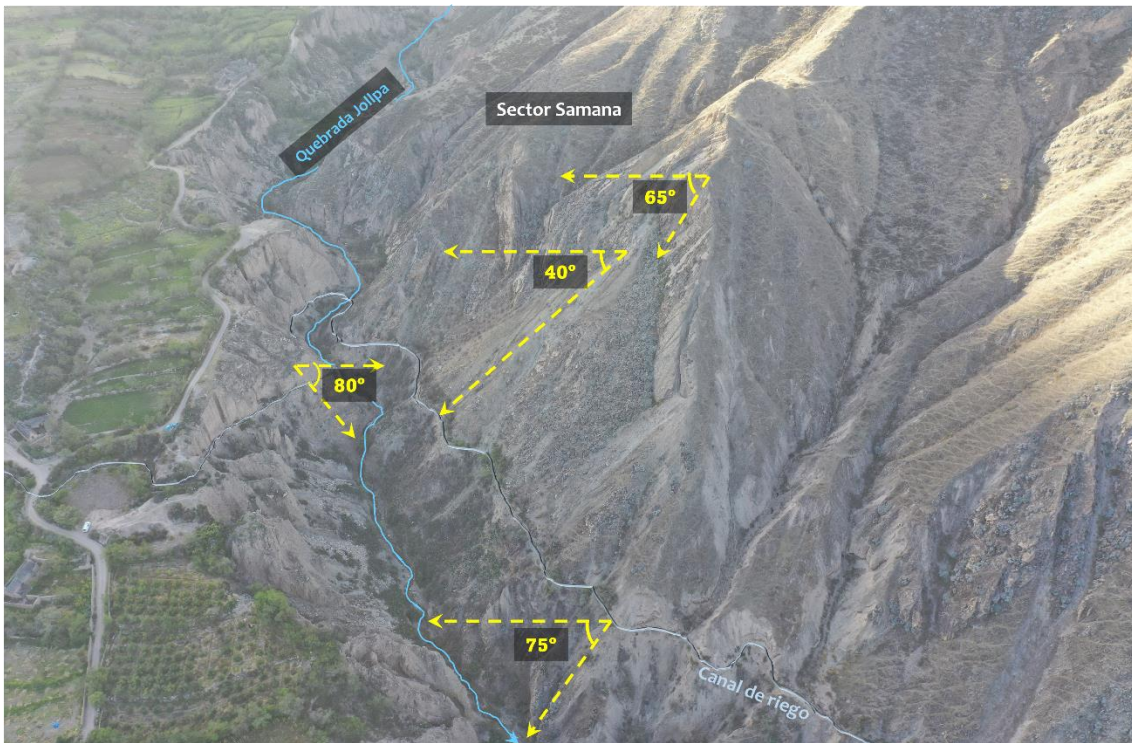
**Figura 12.** Sector Silco, se observan los depósitos proluviales conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1 m, gravas, dentro de una matriz areno-limo-arcilloso. Vista hacia el oeste.

## 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. Además, la pendiente es un factor condicionante en la evaluación de procesos de movimientos en masa (Tabla 2).

**Sector Samana:** Las laderas del flanco Oeste del cerro Joto Jahuana, tienen pendientes mayores a 40° (pendiente muy fuerte a muy escarpado), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. Por otro lado, la zona de piedemonte proluvial o aluviotorrencial sobre la cual se encuentran áreas agrícolas se conforma de pendientes que varían de 1° a 15° (pendientes de inclinación suave a moderado). (Figura 13).



**Figura 13.** Sector Samana, se observa que el terreno presenta pendientes muy fuertes ( $>40^\circ$ ), correspondiente a las vertientes del cerro Joto Jahuana.

**Sector Silco:** Las laderas de la montaña tienen pendientes entre  $15^\circ$  a  $>45^\circ$  (pendientes fuertes a muy escarpadas), lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. Por otro lado, la zona media a baja presenta pendientes hasta los  $10^\circ$  (pendientes llanas a moderadas), y es sobre esta zona que se encuentra el sector de Silco. (Figura 14).



**Figura 14.** Sector Silco, se observa las pendientes del terreno moderado ( $10^\circ$ ) en áreas agrícolas y pendientes moderadas a muy escarpadas ( $15^\circ - >45^\circ$ ) en las laderas de la montaña y quebrada.



En el Mapas 02 del Anexo 01, se presentan los mapas de pendientes del terreno. Estos mapas 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 Drone, donde se obtuvieron modelos digitales de elevación (DEM) de 22 cm de resolución para el sector Samana y 17 cm para el sector de Silco.

**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 (Mapa 03 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 el sector de Samana se puede observar esta montaña en la margen izquierda de la quebrada Jollpa, presenta una superficie abrupta 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 y son susceptibles a deslizamientos, avalancha de detritos y Flujos de detritos. (Figura 18).

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

La montaña estructural en roca sedimentaria se forma debido a la deformación tectónica en capas de roca sedimentaria. Se pueden observar rasgos reconocibles de las estructuras originales. En la montaña estructural del sector de Silco hay lineamientos montañosos compuestos por secuencias estratificadas y plegadas. Estos tienen una característica particular en las imágenes satelitales, que siguen una dirección NE. El terreno es muy abrupto y con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y >45°). Las laderas se muestran escalonadas, están compuestas por areniscas, limolitas y lutitas de la Formación Cachíos perteneciente al Grupo Yura; y son susceptibles a flujos de detritos y avalancha de detritos. (Figura 17).

#### 4.2.1.3. Montañas y colinas en roca sedimentaria (RMC-rs)

Se encuentran en la margen izquierda de la quebrada Silco y margen derecha de la quebrada Grande (Figura 15). Están compuesta principalmente por rocas de areniscas gris oscuro con variaciones de coloraciones a blanquecinas, limolitas y lutitas con tintes rojizos. Tienen laderas de pendientes fuertes a muy fuertes ( $15^\circ - 25^\circ$  y  $25^\circ - 45^\circ$ ), características del terreno que hacen que se observen ciertas avalanchas 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). En las quebradas Jollpa, Silco y Grande se depositaron sedimentos en forma de abanicos aluviotorrenciales forman terraza con altura hasta de 25 metros (en el sector Samana) y 46 metros (en el sector Silco), a la vez se observan a manera de conos de deyección en la base de las montañas. La acumulación de estos sedimentos tiene terrenos con pendientes de inclinación suave a moderada ( $1^\circ - 5^\circ$  y  $5^\circ - 15^\circ$ ), que son muy adecuados para la agricultura y sobre la cual se encuentra el sector Silco. (Figura 15).



**Figura 15.** La figura muestra el piedemonte proluvial o aluviotorrencial y al fondo la montaña y colinas en rocas sedimentarias los que se encuentran en la margen izquierda de la quebrada Silco.

##### 4.2.2.2. Vertiente coluvial (V-c)

En el sector de Samana se pueden observar vertientes coluviales de la montaña con pendientes mayores a  $25^\circ$  (muy fuertes a muy escarpados), las cuales están conformadas por la acumulación de sedimentos y materiales sueltos que se originaron por avalancha de detritos y flujos de detritos de la ladera de la montaña Joto Jahuana y se depositan en la base de esta. Además, cabe mencionar que a lo largo de la quebrada

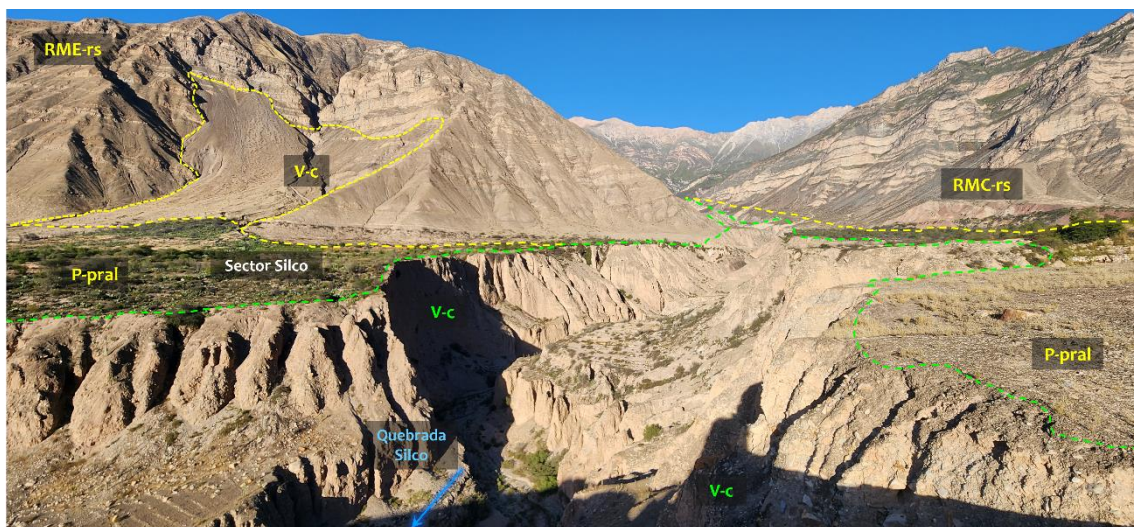


Jollpa, cuyas laderas vienen a ser las vertientes coluviales se observa la erosión de laderas en cárcavas. (Figura 16).



**Figura 16.** Sector Samana, se observa la vertiente coluvial (V-c) en ambas márgenes de la quebrada Jollpa.

En el sector de Silco, se pueden observar vertientes coluviales en la montaña con pendientes mayores a 15° (fuertes a muy escarpados). Estas vertientes están formadas por la acumulación de sedimentos y materiales sueltos que se originaron por avalancha de detritos y flujos de detritos de las laderas de la montaña cercana al sector Silco y se depositan en su base. Además, se observan estas vertientes a lo largo de la quebrada Silco que se originaron por derrumbes y erosión de laderas en cárcavas. Es importante mencionar que el canal de riego principal que abastece al sector Silco pasa por esta vertiente. (Figura 17).



**Figura 17.** Se observan las geoformas del sector Silco. A la margen izquierda de la quebrada Silco se tienen montañas y colinas en rocas sedimentarias (RMC-rs) y piedemonte proluvial o aluviotorrential (P-pral). A la



margen derecha de la misma quebrada se observan montañas estructurales en roca sedimentaria (RME-rs), vertiente coluvial (V-c) y piedemonte proluvial o aluviotorrencial (P-pral).

#### 4.2.2.3. Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd)

Este tipo de vertiente se observa en el sector Samana, en la margen izquierda de la quebrada Jollpa, donde se aprecian procesos de movimientos en masa del tipo deslizamiento traslacional ocurrido en las laderas de esta montaña (Cerro Joto Jahuana). (Figura 18).



**Figura 18.** Se observa la Montaña en roca sedimentaria (RM-rs) y la Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) en la margen izquierda de la quebrada Jollpa.

## 5. PELIGROS GEOLOGICOS

### 5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Samana

La descripción de los eventos geodinámicos en el sector de Samana 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 22cm y 5cm respectivamente. Además, se complementó con el análisis de imágenes satelitales.

El sector se ubica en una montaña en roca sedimentaria estructural, la roca se encuentra medianamente fracturadas a muy fracturadas y moderadamente meteorizadas. Factores condicionantes para que se generen deslizamientos, avalancha de detritos, flujos de detritos y erosión de ladera en cárcava. Esta geodinámica activa afecta al canal de riego y por ende la producción agrícola de pan llevar. (Mapas 04 y 04-A del Anexo 01).

#### 5.1.1. Deslizamiento traslacional

Los deslizamientos encontrados en el sector de Samana son del tipo traslacional progresivo que actualmente no muestra actividad, pero son latentes a reactivaciones. Se ubican en la margen izquierda de la quebrada Jollpa, en la ladera del cerro Joto Jahuana.

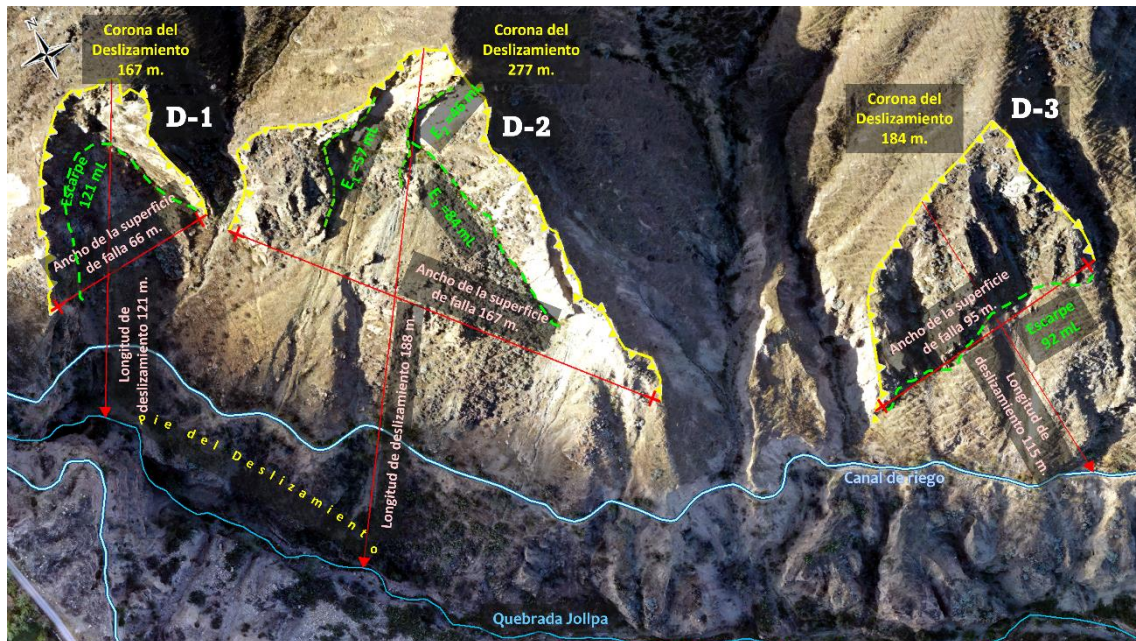
Los cuerpos de los deslizamientos están compuestos por fragmentos de rocas angulosas, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 3 m, gravas, dentro de una matriz limo arenoso. Los deslizamientos son de actividad de movimiento suspendido, formados en laderas de pendientes muy fuertes a muy escarpadas (>40°). Estas características hacen que este sector sea muy susceptible a los movimientos en masa de este tipo. Además, en los cuerpos de los deslizamientos se observan avalanchas de detritos.

En el sector existen tres deslizamientos (Figura 19) con las siguientes características:

- **D1** (Longitud de corona 167 m, Ancho de la superficie de falla de 66 m, Longitud de deslizamiento de 121 m, Longitud de escarpe 121 m y salto de 17 m).
- **D2** (Longitud de corona 277 m, Ancho de la superficie de falla de 167 m, Longitud de deslizamiento de 188 m, tres escarpes de longitudes E<sub>1</sub> – 57 m, E<sub>2</sub> – 46 m, E<sub>3</sub> – 84 m y saltos de 5 m, 5 m y 20 m respectivamente).
- **D3** (Longitud de corona 184 m, Ancho de la superficie de falla de 95 m, Longitud de deslizamiento de 115 m, Longitud de escarpe 92 m y salto de 50 m).

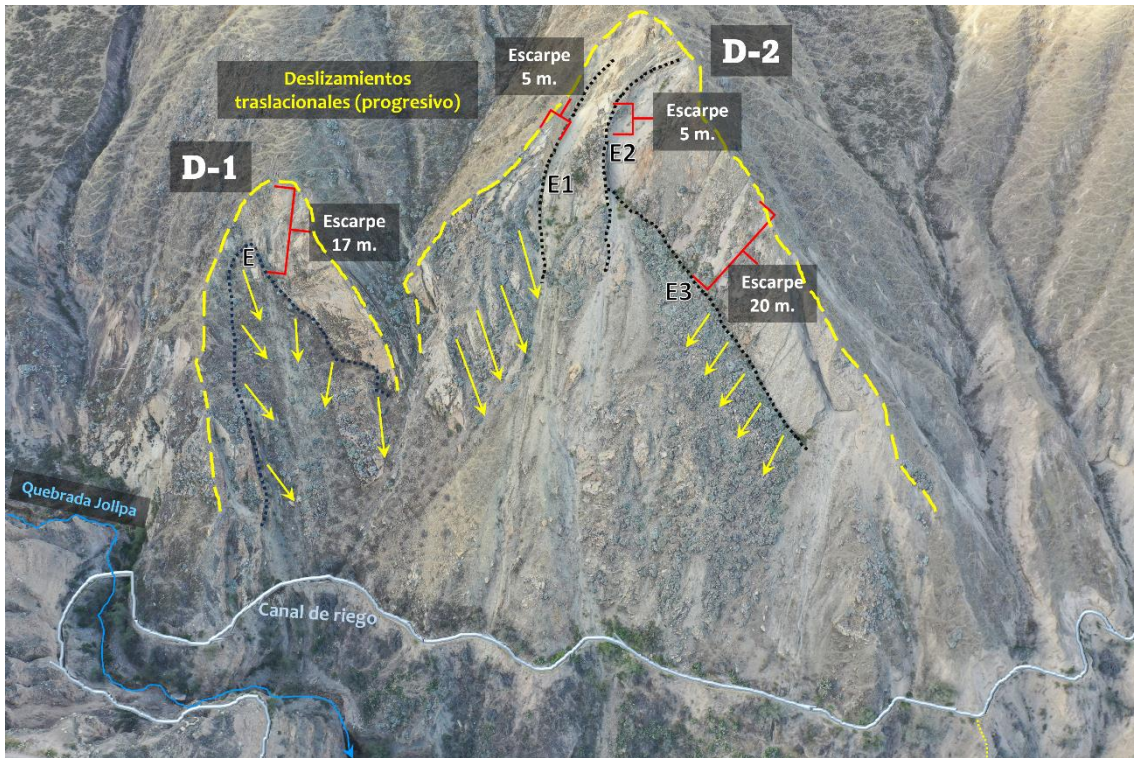
Los cuerpos de los deslizamientos (D1 y D2) se extienden hasta el cauce de la quebrada Jollpa, el mismo que a su vez socava y erosiona el pie de los deslizamientos, lo que podría reactivarlos durante épocas de precipitaciones pluviales excepcionales. (Figura 20).

Estos deslizamientos representan un **peligro alto a muy alto** para la infraestructura del canal de riego del sector Samana como también para los pobladores regantes que transitan por el canal. Además, existe la posibilidad de que de reactivarse los deslizamientos llegarían a represar la quebrada Jollpa, el posible desembalse y/o ruptura de dique del represamiento, afectaría las viviendas y áreas agrícolas que se ubican aguas abajo de la quebrada.



**Figura 19.** Se muestra las características de los deslizamientos traslacionales en la ladera del flanco oeste del cerro Joto Jahuana, margen izquierda de la quebrada Jollpa.





**Figura 20.** Se observa deslizamientos traslacionales progresivos en la ladera del flanco oeste del cerro Joto Jahuana, margen izquierda de la quebrada Jollpa.

#### 5.1.2. Avalancha de detritos

Se caracteriza por el desplazamiento libre y rápido a extremadamente rápido de detritos saturados compuesto por fragmentos de rocas angulosas, de bloques con tamaños máximos de hasta 0.3 metros y gravas en matriz limo arenoso. (Figura 21).

Este proceso, está condicionado por la ladera con pendiente muy escarpados ( $>40^\circ$ ) que presenta las laderas del flanco oeste del cerro Joto Jahuana y el material saturado que aumento de peso la masa inestable.

Este proceso afecta y pone en **peligro alto** al canal de riego en el sector Samana que pasa por las laderas de la montaña.



**Figura 21.** En la figura se observa la acumulación de avalancha de detritos que se desarrollan en el cuerpo del deslizamiento, estos se dan en las laderas del cerro Joto Jahuana.

### 5.1.3. Flujo de detritos

De acuerdo con los testimonios de los pobladores del centro poblado de Ayo, en las laderas de la montaña Joto Jahuana y en la quebrada Jollpa se producen flujos de detritos (huaicos) en el periodo lluvioso (diciembre a marzo). Esta recurrencia de eventos pone en **peligro alto** al canal de riego que pasa por las laderas de esta montaña y ocasionalmente a las áreas de cultivo. Las areniscas por estar moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas y las lutitas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas, contribuyen a la acumulación de material para la generación de flujos de detritos.

Se tiene abundante material detrítico suelto, producto de flujos antiguos, con bloques de hasta 0.3 m en matriz limo arenoso. Los fragmentos de rocas son de formas subangulosas por su escaso transporte y de producirse lluvias excepcionales, se generarían flujos de detritos (huaico) que arrastrarían mayor volumen de sólidos de material.

En el área evaluada se observan dos actividades bien diferenciadas de flujos de detritos:

- **Flujo de detritos activo (Reciente):** Corresponde a los eventos frecuentes de huaicos que se dan por el cauce de la quebrada Jollpa (flujo canalizado) y en las vertientes de la montaña Joto Jahuana (flujos no canalizados) que afectan directamente al canal de riego. (Figura 22).
- **Flujo de detritos inactivo relicto (Antiguo):** Formó las terrazas de depósitos proluviales con alturas de 65 metros, que se observan en ambas márgenes de la quebrada Jollpa, sobre la cual se ubican las áreas agrícolas en este sector. (Figura 22).





**Figura 22.** En la figura se observan los depósitos de flujos de detritos activos (reciente) en el cauce de la quebrada Jollpa y flujos de detritos inactivos relictos (antiguo) acumulados a manera de terrazas con alturas de hasta 65 m.

#### 5.1.4. Otros peligros geológicos - Erosión de ladera en cárcavas

Las cárcavas son zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía). En el sector de Samana, la erosión de laderas en cárcava se observa en las laderas de la quebrada Jollpa (Figura 23), cuyas pendientes son muy escarpadas ( $>45^\circ$ ), lo que hace que la escorrentía pluvial erosione las laderas durante las épocas de precipitaciones pluviales anuales. Estas cárcavas alcanzan longitudes promedio de 61 metros, anchos promedio de 12 metros y profundidades promedio de 9 metros.

Este peligro geológico activo pone en **peligro alto** al canal de riego que pasa por las laderas de la montaña Joto Jahuana y a ciertas áreas de cultivo.



**Figura 23.** Se observan las cárcavas que están erosionando las laderas de la vertiente de la quebrada Jollpa en ambas márgenes de su curso.

## 5.2. Peligros geológicos por movimientos en masa – Sector Silco

La descripción de los eventos geodinámicos en el sector de Silco 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 17cm y 5cm respectivamente. Además, se complementó con el análisis de imágenes satelitales.

El sector de Silco se encuentra sobre depósitos proluviales (provenientes de huaicos) poco compactos a manera de terrazas de hasta 70 metros de altura, conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1 m, gravas con matriz areno-limo-arcilloso. Se observan también derrumbes y erosión en cárcava.

Por otro lado, las montañas circundantes a este sector están compuestas por rocas de areniscas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas intercaladas con lutitas moderadamente meteorizadas y fragmentadas, condiciones para la generación de avalancha de detritos y flujos de detritos.

La geodinámica activa afecta al canal de riego que pasa por las laderas de la quebrada Silco, por lo cual no tiene un buen funcionamiento de la captación y continuidad del canal de riego hacia el sector de Silco y por ende perjudica la producción agrícola de pan llevar. (Mapas 04 y 04-B del Anexo 01).

### 5.2.1. Flujo de detritos

De acuerdo con los testimonios de los pobladores del centro poblado de Ayo, en las laderas de la montaña aledaña al sector Silco y cauce de la quebrada Silco se producen



flujos de detritos (huaicos) durante los periodos de precipitaciones pluviales anuales que presentan intensidades máximas.

Los flujos de detritos observados en el sector de Silco son de dos tipos:

- **Flujo de detritos activo (Reciente):** Se tienen flujos no canalizados que se observan en las laderas de la montaña circundante al sector y canalizados compuesto por depósitos polimícticos, subredondeados a redondeados y no consolidados que se encuentran en el cauce de la quebrada Silco. Los bloques tienen tamaños máximos de 0.3 m, grava y escasa matriz areno-limo-arcilloso. Este proceso ocurre durante los periodos anuales de precipitaciones pluviales de intensidades máximas y pone en **peligro alto** al canal de riego en el sector. (Figura 24).
- **Flujo de detritos inactivo relicto (Antiguo):** Movimiento en masa que claramente ocurrió bajo condiciones geomórficas o climáticas diferentes a las actuales, posiblemente hace miles de años (Cruden y Varnes, 1996). El flujo está conformado por bloques con tamaños máximos de hasta 1 metro, gravas y una matriz areno-limo-arcillosa. Los elementos de estos depósitos no tienen ninguna selección, tratándose de una mezcla heterogénea con rocas de formas (angulosas a subredondeadas), alcanzando alturas de acumulación a manera de terrazas (piedemontes proluviales o aluviotorrenciales) de hasta 70 metros de potencia. (Figura 25).



**Figura 24.** Se observa el flujo de detritos no canalizado reciente (activo) en la ladera de montaña en el sector de Silco.





**Figura 25.** Se muestra los depósitos originados por flujos de detritos antiguos (inactivo relicto), que alcanzan alturas de hasta 70 metros. Asimismo, se observan los depósitos recientes.

### 5.2.2. Avalancha de detritos

Este proceso está condicionado por la pendiente fuerte a muy escarpada ( $>15^\circ$ ) del terreno, las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas (Fm. Cachíos). La avalancha está compuesta por fragmentos de rocas angulosas, bloques con tamaños máximos de hasta 1 metro, gravas y una escasa matriz areno-limo-arcillosa.

Parte del tramo del canal de riego que abastece al sector Silco, se encuentra afectado por la avalancha de detritos, lo que pone en **peligro alto** al canal. (Figura 26).



**Figura 26.** Se observa la avalancha de detritos en la montaña aledaña al sector Silco.

### 5.2.3. Derrumbe

En la quebrada Silco se observan derrumbes antiguos (inactivos abandonados), debido a que las condiciones del suelo son poco compactas, lo que permite la infiltración de agua (Figura 27). Están conformados por bloques con tamaños máximos de hasta 1 metro, gravas en matriz areno-limo-arcillosa. Estos factores, sumados a las pendientes



muy escarpadas ( $>45^\circ$ ) de las paredes de la quebrada, hacen que la zona sea susceptible a movimientos en masa de este tipo.

Cabe aclarar que el sector de Silco es una zona agrícola donde el sistema de riego se da por gravedad. Esto hace que las riberas de la quebrada Silco sean susceptibles a derrumbes. Por lo tanto, el nivel de **peligro** se considera **medio**.



**Figura 27.** Se evidencia derrumbes en las laderas de la quebrada Silco. Vista hacia el oeste.

#### 5.2.4. Otros peligros geológicos - Erosión de ladera en cárcavas

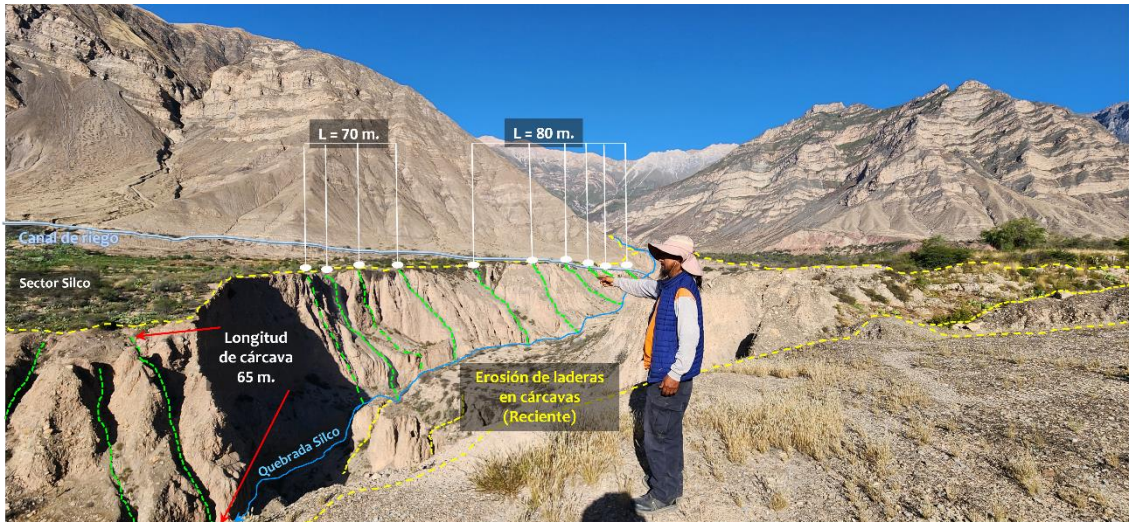
Este proceso se observa en las laderas de la quebrada Silco, que muestran fragmentos de rocas heterogéneas de formas angulosas en matriz areno-limo-arcillosa.

El terreno presenta pendientes de muy fuertes a muy escarpadas ( $>25^\circ$ ), lo que hace que la escorrentía pluvial erosione las laderas durante las épocas de precipitaciones pluviales anuales. Esto desestabiliza las laderas y dificulta la prestación del servicio de agua para riego.

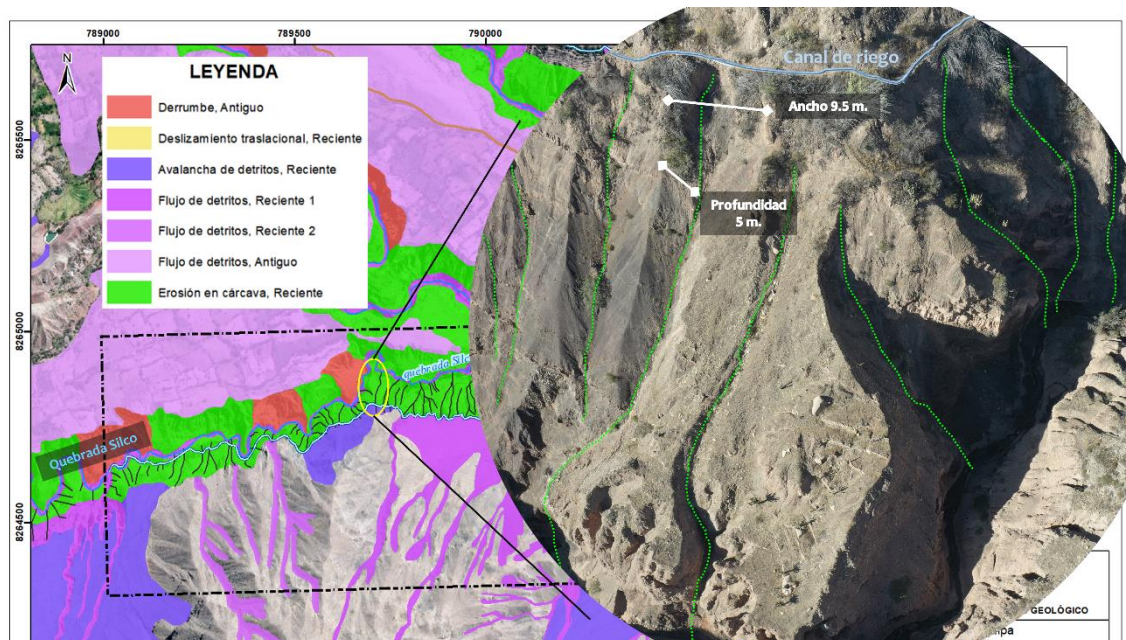
Las cárcavas tienen una longitud promedio de 65 metros, ancho promedio de 9.5 metros y profundidad promedio de 5 metros (Figuras 28 y 29).

Este peligro geológico mantiene su estado de actividad activo, afecta directamente al tramo inicial de captación del agua para riego que abastece al sector de Silco (Figura 29) y ocasionalmente a ciertas áreas de cultivo aledañas a la ribera de la quebrada (Figura 28).

Por las condiciones geológicas, geodinámicas y geomorfológicas se le califica como **peligro alto**.



**Figura 28.** Se observan las diferentes longitudes de las cárcavas que erosionan las laderas de la quebrada Silco.



**Figura 29.** Se muestra la erosión de laderas en cárcavas en la quebrada Silco que afecta el tramo inicial del canal de riego.

### 5.3. Factores condicionantes

Las causas principales están relacionados a los siguientes factores:

- Factor: Litología

#### Sector Samana:

En el sector de Samana afloran rocas de areniscas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas.



Anexo Silco:

Sobre las laderas de la quebrada Silco se tienen depósitos coluviales conformados por fragmentos de rocas angulosas en matriz areno-limo-arcilloso, que son propensos a erosión de laderas en cárcavas por la escorrentía durante las precipitaciones pluviales intensas.

- Factor: Geomorfológico

Sector Samana:

El flanco oeste de la montaña en roca sedimentaria Joto Jahuana presenta laderas de pendiente variable con pendientes muy fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ) a muy escarpadas ( $>45^{\circ}$ ). Estas características permiten que los depósitos producto de los deslizamientos, avalancha de detritos y flujo de detritos discurran fácilmente por efectos de la gravedad y escorrentía de aguas superficiales.

Sector Silco:

La presencia de montañas estructurales en roca sedimentaria con laderas de pendientes muy fuertes a muy escarpadas ( $25^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  y  $>45^{\circ}$ ), permite que el material suelto de la avalancha de detritos y flujo de detritos discurra fácilmente, por efectos de la gravedad y escorrentía de aguas superficiales

La incisión del agua de escorrentía erosiona el depósito y va generando procesos de erosión de laderas.

#### **5.4. Factores desencadenantes**

- Lluvias intensas

El principal factor desencadenante para la activación del deslizamiento, generación de flujo de detritos y erosión de laderas en cárcavas, son las precipitaciones intensas y/o prolongadas.

Existe un registro en el histograma de la estación Ayo - SENAMHI que muestra precipitaciones totales mensuales en milímetros distribuidas a lo largo del período 1963-2013, que muestra un umbral máximo de 30 mm en el año 1967.

- Sismos

Los sismos pueden acelerar y movilizar las estructuras internas del suelo, lo que puede desencadenar el avance del deslizamiento y avalancha de detritos en el sector Samana.

## 6. CONCLUSIONES

### 6.1. Sector Samana

- a) Afloran areniscas que se encuentran moderadamente meteorizadas con estructuras medianamente fracturadas y lutitas carbonosas moderadamente meteorizadas y muy fracturadas.
- b) Presenta montaña en roca sedimentaria representada por el cerro Joto Jahuana, Sobre las laderas se tienen vertiente coluvial y coluvio-deluvial.
- c) Las pendientes del terreno en este sector son muy fuertes (25°-45°) a muy escarpadas (>45°). Estas características permiten que los depósitos producto de los deslizamientos y avalancha de detritos discurran fácilmente por efectos de la gravedad.
- d) Los peligros geológicos encontrados en el sector son deslizamientos, avalancha de detritos, que se encuentra en la margen izquierda de la quebrada Jollpa, además, se tienen flujo de detritos que discurren por el cauce de la quebrada y erosión de laderas en cárcavas.
- e) Se tiene tres deslizamientos traslacionales progresivos, por los cuerpos discurren el canal de riego que abastece al área agrícola del centro poblado de Ayo. Además, el pie del deslizamiento está siendo erosionado y socavado por el cauce de la quebrada Jollpa, pudiendo generar su activación.
- f) La infraestructura del canal de riego que pasa por este sector de Samana es de gran importancia para la producción agrícola del centro poblado de Ayo. Se considera **Peligro Muy Alto** a movimientos en masa.
- g) El centro poblado de Ayo se encuentra en **Peligro Alto**. De reactivarse los deslizamientos, podrían represar la quebrada Jollpa, lo que afectaría al centro poblado.
- h) Este sector, por la condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas se considera de **Peligro Alto a Muy Alto**.

### 6.2. Sector Silco

- a) Está conformado por depósitos proluviales aluviotorrenciales, con alturas hasta 70 metros, compuestos por bloques con tamaños máximos de hasta 1 metro, gravas y una matriz areno-limo-arcilloso. Estos depósitos se caracterizan por estar poco compactos, lo que permite la infiltración del agua.
- b) Está conformada por montaña estructural en rocas sedimentarias, vertiente coluvial y piedemonte proluvial o aluviotorrencial.
- c) Las pendientes en este sector son muy fuertes a muy escarpadas (25° - 45° y >45°). Estas características del terreno permiten que los depósitos producto de la avalancha de detritos discurran fácilmente por efectos de la gravedad. Además, estas características pueden generar erosión de laderas en cárcavas por la escorrentía de aguas superficiales y derrumbes.
- d) Los peligros geológicos encontrados en el sector son derrumbes, avalancha de detritos, flujo de detritos y erosión de laderas en cárcavas en la quebrada Silco.



- e) La infraestructura del canal de riego (captación y tramo inicial) que pasa por la margen derecha de la quebrada Silco se encuentra en alto peligro, que puede ser afectada por erosiones de laderas, flujo de detrito y derrumbes.
- f) Debido a las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas del sector, se le califica como de **Peligro Alto**.

## 7. RECOMENDACIONES

### Sector Samana:

- a) Se sugiere cambiar el trazo del canal de riego en este sector, a un lugar donde no se observe perturbaciones geológicas.
- b) Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos del deslizamiento y alrededores.
- c) Instalar puentes colgantes para acueductos en los cauces de las quebradas Jollpa y Grande.
- d) Mejorar el canal de riego actual que se encuentra fuera de este sector, empleando tuberías de manera soterrada, e impermeabilizando los canales existentes.
- e) Construir un muro de contención, enrocados u otras estructuras de protección en el pie del deslizamiento para evitar que el agua erosione el material suelto en la quebrada Jollpa.

### Sector Silco:

- a) Se sugiere cambiar el trazo del canal de riego en este sector, a un lugar donde no se observe perturbaciones geológicas.
- b) Mejorar el sistema de captación de agua para riego en la quebrada Silco. La captación debe realizarse cientos de metros más aguas arriba del punto actual.
- c) Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos.
- d) Mejorar la infraestructura en general del sistema de riego que abastece al sector de Silco, empleando tuberías de manera soterrada y ancladas.
- e) Evitar la filtración de agua proveniente de los terrenos de cultivo. Esto se reduciría si se tecnifica el sistema de riego en zonas de cabecera de ladera. Por lo que, se sugiere cambiar a un sistema de riego por goteo.
- f) Capacitación en técnicas de riego por goteo, para de esta manera mitigar el avance de la erosión de laderas en cárcavas de la quebrada Silco.



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>

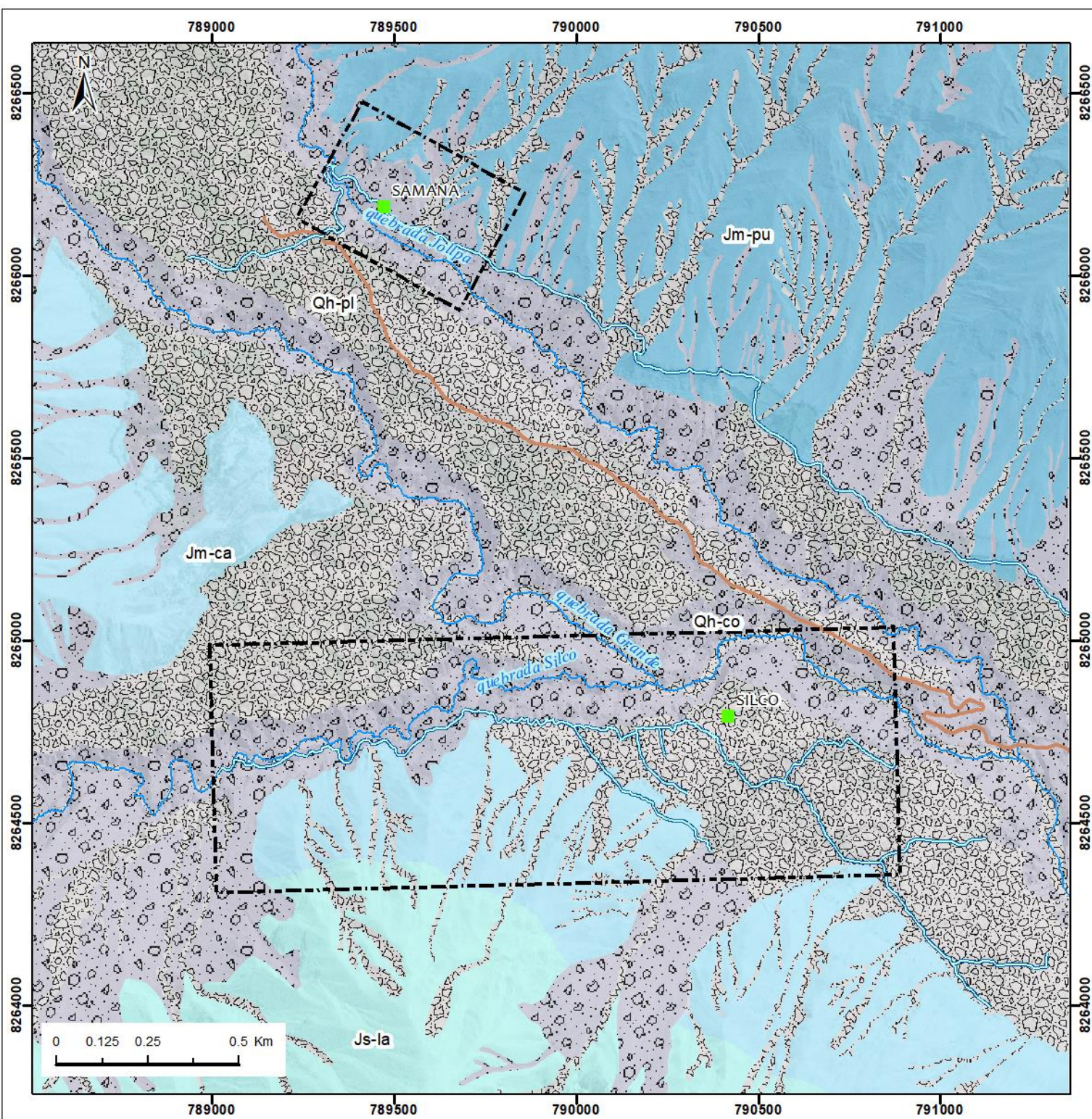
Google. (2021). Google Earth [Mapa]. Recuperado de <https://www.google.com/earth/>

## **ANEXO 01: MAPAS**

Se presenta los siguientes mapas:

- Mapa N°1. Geología de los sectores Samana y Silco. Modificado del mapa geológico del cuadrángulo de Huambo y Orcopampa (Hojas 32-r, 31-r).
- Mapa N°2. Pendientes de los terrenos de los sectores Samana y Silco.
- Mapa N°3. Geomorfología de los sectores Samana y Silco.
- Mapa N°4. Cartografiado de peligros geológicos de los sectores Samana y Silco.





### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Samana y Silco
- Cerros
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas

### LEYENDA

**Unidades litoestratigráficas**

- Qh-pl, Depósito Proluvial
- Qh-co, Depósito Coluvial
- Js-la, Grupo Yura - Fm. Labra
- Jm-ca, Grupo Yura - Fm. Cachios
- Jm-pu, Grupo Yura - Fm. Puente



**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

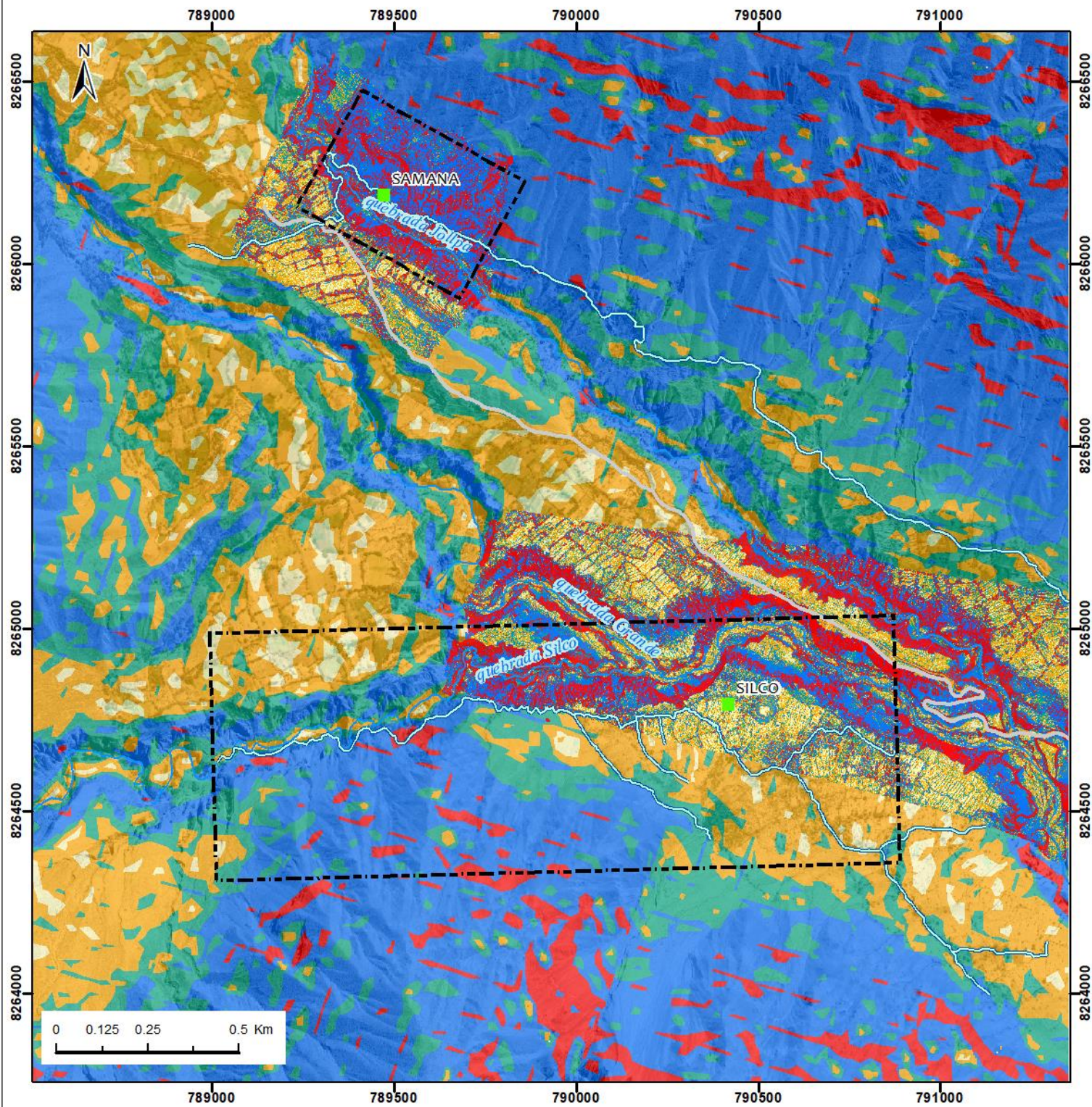
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

Departamento Arequipa  
 Provincia Castilla  
 Distrito Ayo

## GEOLOGIA DEL SECTOR SAMANA Y SILCO

Escala: 1/15,000	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>01</b>
Versión digital 2023		





### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Samana y Silco
- Cerros
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas

### LEYENDA

#### Pendiente (Grados)

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



**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

---

Departamento Arequipa  
 Provincia Castilla  
 Distrito Ayo

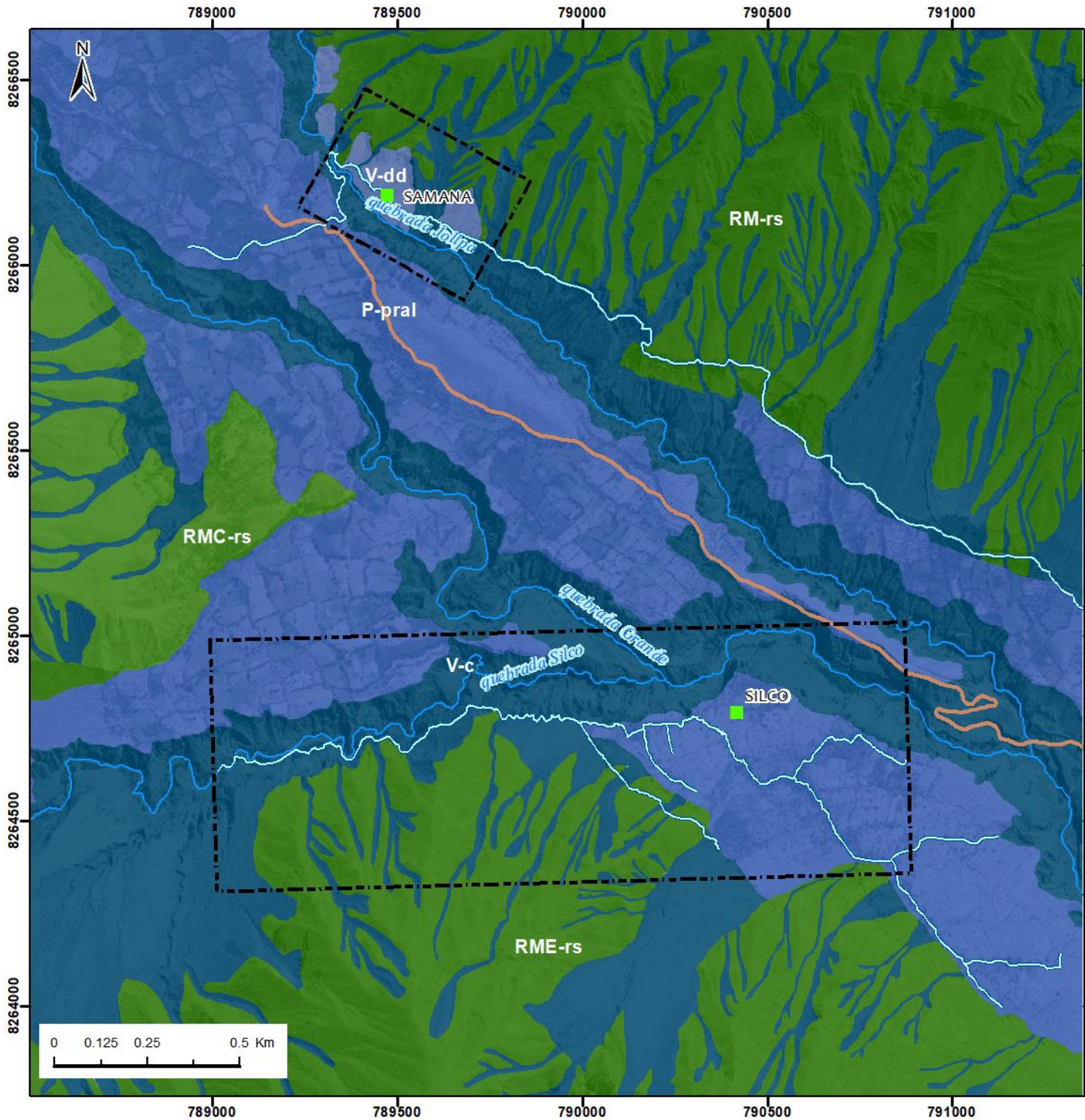
---

### PENDIENTES DEL TERRENO DEL SECTOR SAMANA Y SILCO

---

Escala: 1/15,000    Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84	<b>02</b>
Versión digital 2023	





### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Samana y Silco
- Cerros
- Sectores a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas

### LEYENDA

**Unidades geomorfológicas**

- P-pral, Piedemonte proluvial o aluviotorrencial
- V-c, Vertiente Coluvial
- V-dd, Vertiente con depósito de deslizamiento
- RMC-rs, Montañas y colinas en roca sedimentaria
- RME-rs, Montaña estructural en roca sedimentaria
- RM-rs, Montaña en roca sedimentaria



**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
 Provincia Castilla  
 Distrito Ayo

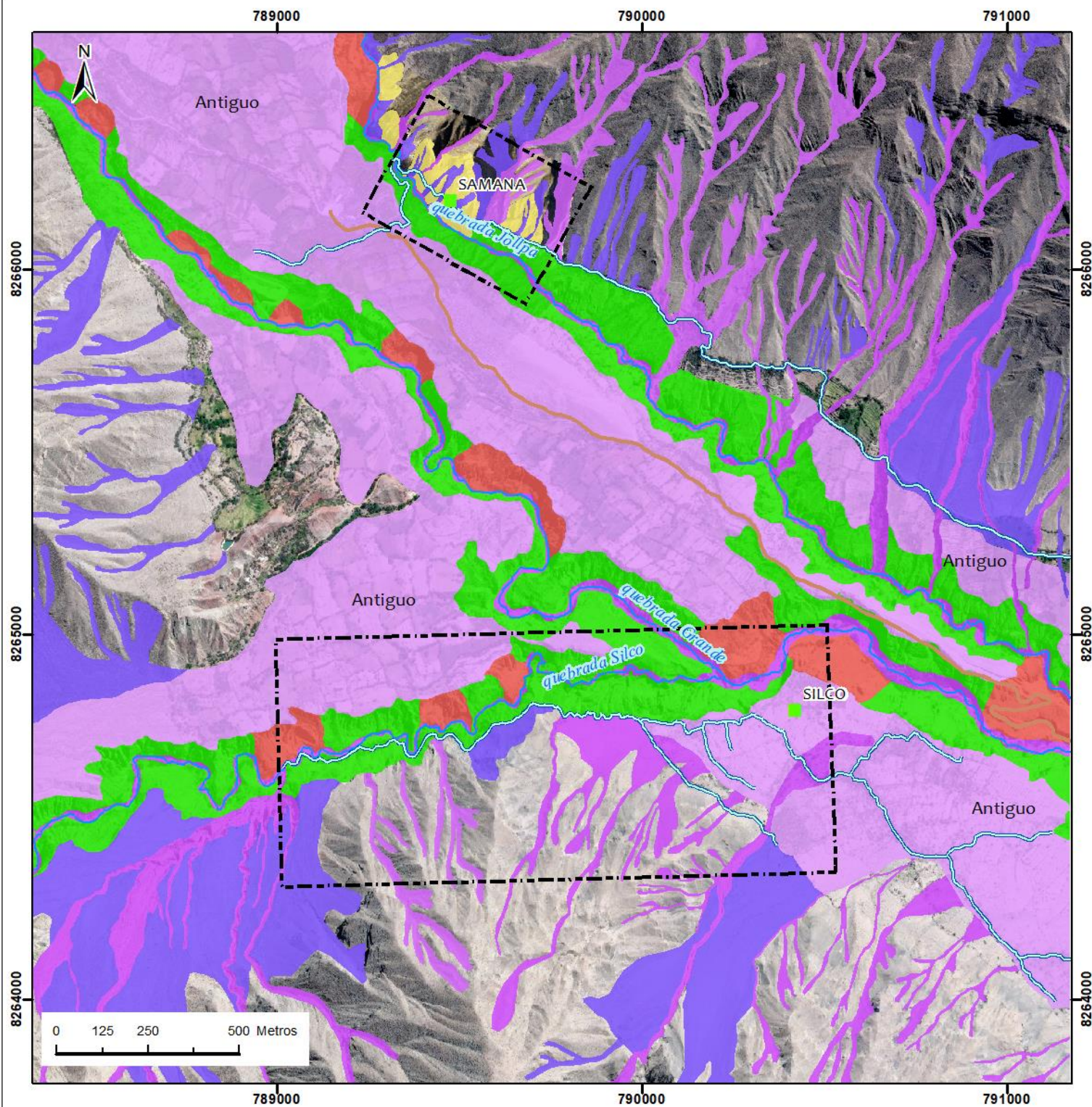
**GEOMORFOLOGIA DEL  
 SECTOR SAMANA Y SILCO**

Escala: 1/15,000    Elaborado por: Ccorimanya Bety    **MAPA**

Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84    **03**

Versión digital 2023





### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sectores Samana y Silco
- Sector a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas

### LEYENDA

- Derrumbe, Antigua
- Deslizamiento traslacional - Suspendido
- Avalancha de detritos
- Flujo de detritos, Reciente 1
- Flujo de detritos, Reciente 2
- Flujo de detritos, Antigua
- Erosión en cárcava activa



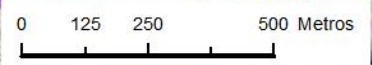
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
Provincia Castilla  
Distrito Ayo

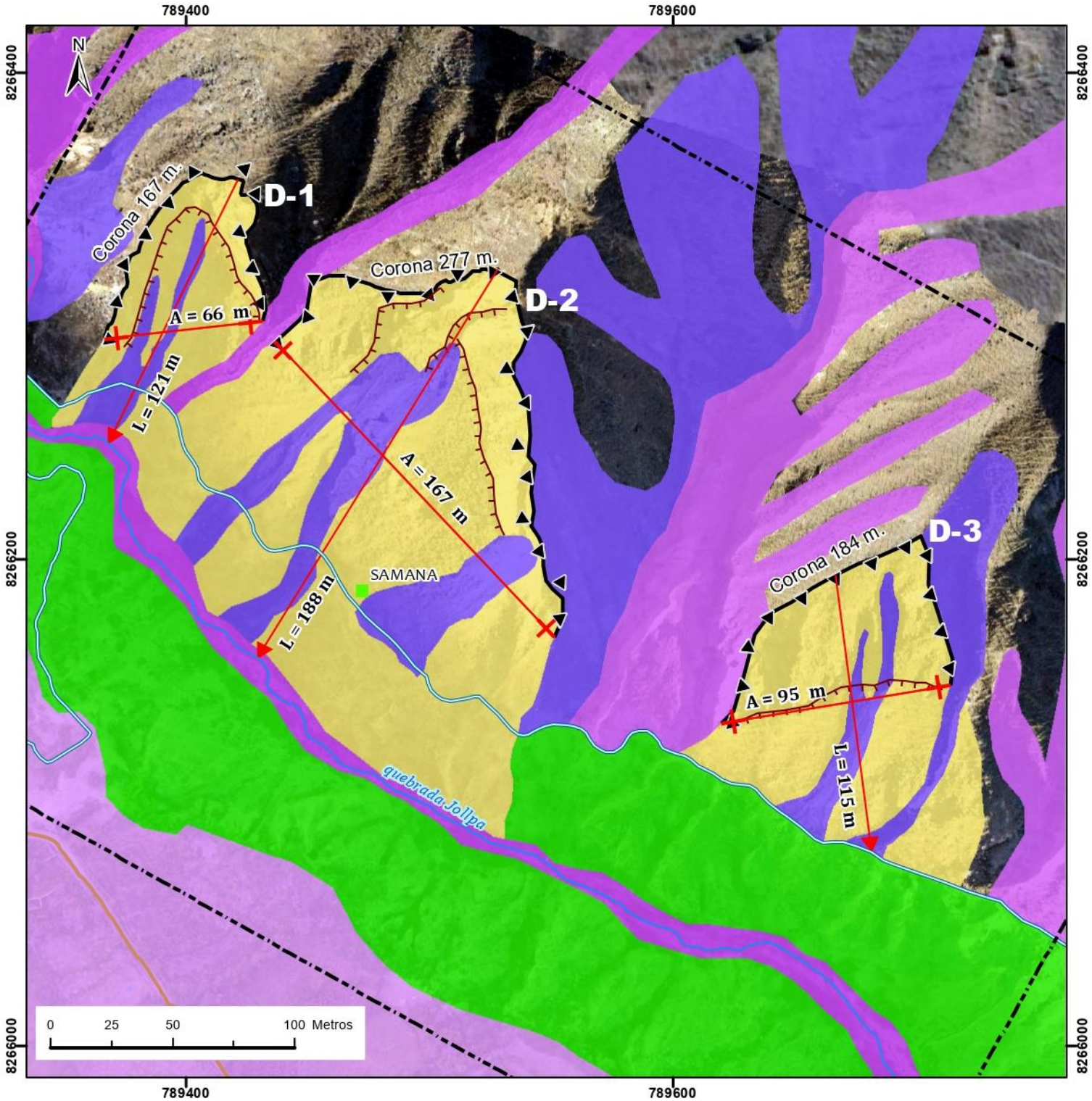
### CARTOGRAFIADO DE PELIGROS DEL SECTOR SAMANA Y SILCO

Escala: 1/15,000    Elaborado por: Ccorimanya Bety  
Proyección: UTM Zona 18 Sur    Datum: WGS 84  
Versión digital 2023

MAPA  
**04**







### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Samana
- Sector a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Ancho de la superficie de falla
- Longitud del deslizamiento
- Corona de Deslizamiento
- Escarpe

### LEYENDA

- Deslizamiento traslacional - Suspendido
- Avalancha de detritos
- Flujo de detritos, Reciente 1
- Flujo de detritos, Reciente 2
- Flujo de detritos, Antigo
- Erosión en cárcava activa

SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

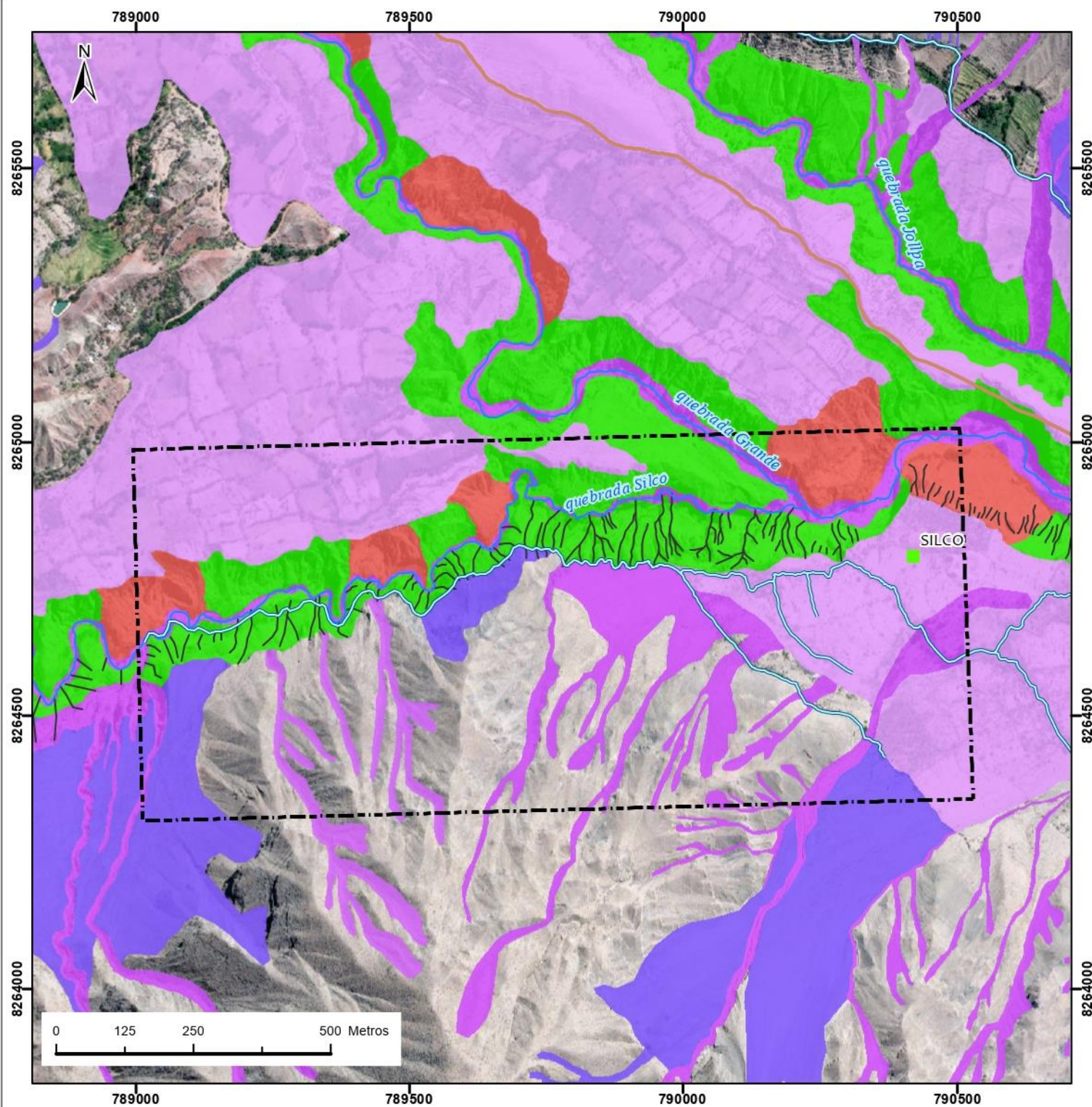
**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

Departamento Arequipa  
 Provincia Castilla  
 Distrito Ayo

**CARTOGRAFIADO DE PELIGROS DEL  
 SECTOR SAMANA**

Escala: 1/2,250	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>04-A</b>
Versión digital 2023		





### SIMBOLOGIA

- Área de evaluación - Sector Silco
- Sector a evaluar
- Canal de riego
- Red vial vecinal
- Red vial departamental
- Quebradas
- Cárcavas

### LEYENDA

- Derrumbe, Antiguo
- Deslizamiento traslacional - Suspendido
- Avalancha de detritos
- Flujo de detritos, Reciente 1
- Flujo de detritos, Reciente 2
- Flujo de detritos, Antiguo
- Erosión en cárcava activa



**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

**DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO**

Departamento Arequipa  
 Provincia Castilla  
 Distrito Ayo

### CARTOGRAFIADO DE PELIGROS DEL SECTOR SILCO

Escala: 1/10,000	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>04-B</b>
Versión digital 2023		



## ANEXO 02: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

### a) Mitigación de peligros geológicos – Sector Samana

Para disminuir los daños por flujos de detritos, erosión de laderas en cárcavas y los deslizamientos traslacionales son necesarios aplicar las siguientes medidas:

- Replantear el trazo del canal de riego en este sector, a un lugar donde no se observe perturbaciones geológicas.
- Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos del deslizamiento y alrededores.
- Instalar puentes colgantes para acueductos en los cauces de las quebradas profundas, como la quebrada Jollpa y quebrada Grande.
- Mejorar el canal de riego actual que se encuentra fuera de este sector, empleando tuberías de manera soterrada e impermeabilizando los canales existentes.
- Construir un sistema de protección con muros de contención, enrocado u otras estructuras de protección en el cauce de la quebrada Jollpa, para evitar la erosión fluvial en el pie del deslizamiento.



**Figura 30.** Ejemplo de un puente colgantes para acueductos entubados.





**Figura 31.** Ejemplo de un sistema de riego entubado.



**Figura 32.** Ejemplo de un sistema de protección enrocado en el pie del deslizamiento.

a) Mitigación de peligros geológicos – Sector Silco

Para disminuir los daños por flujo de detritos, avalancha de detritos, derrumbe y erosión de laderas en cárcavas, son necesarios aplicar las siguientes medidas:

- Replantear el trazo del canal de riego en este sector, a un lugar donde no se observe perturbaciones geológicas.
- Mejorar el sistema de captación de agua para riego en la quebrada Silco y realizar la captación cientos de metros más aguas arriba del punto actual.
- Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos.
- Mejorar la infraestructura en general del sistema de riego que abastece al sector de Silco, empleando tuberías de manera soterrada y ancladas.

- Evitar la filtración de agua proveniente de los terrenos de cultivo. Esto se reduciría si se tecnifica el sistema de riego en zonas de cabecera de ladera. Por lo que, se recomienda cambiar a un sistema de riego por goteo.
- Capacitación en técnicas de riego por goteo, para de esta manera mitigar el avance de la erosión de laderas en cárcavas de la quebrada Silco.



**Figura 33.** Ejemplo de un sistema de riego entubado.



**Figura 34.** Ejemplo del sistema de riego por goteo.