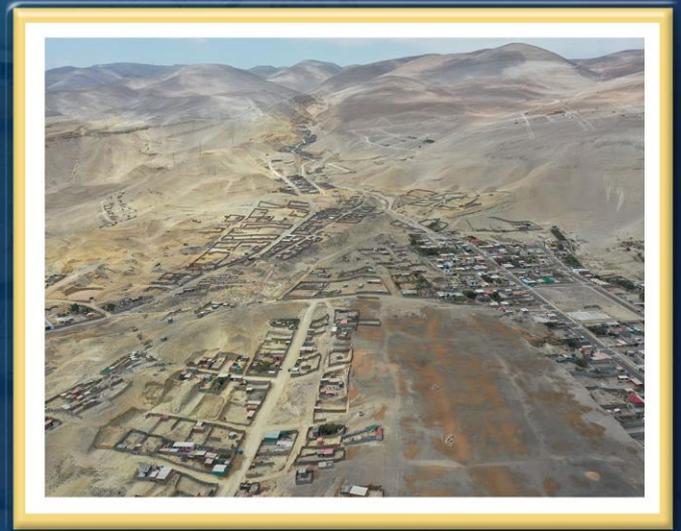


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7466**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA BUEN PASTOR

Departamento Arequipa  
Provincia Camaná  
Distrito Samuel Pastor



DICIEMBRE  
2023

## ***EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA QUEBRADA BUEN PASTOR***

Distrito Samuel Pastor, Provincia Camaná, 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 la quebrada Buen Pastor, Distrito Samuel Pastor, Provincia Camaná, Departamento Arequipa*: INGEMMET, Informe Técnico A7466, 39 p.

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCION.....	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	4
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Población.....	6
1.3.3. Accesibilidad.....	7
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES.....	8
3. ASPECTOS GEOLOGICOS.....	11
3.1. Unidades Litoestratigráficas.....	11
3.1.1. Formación Camaná (Nm-cam).....	11
3.1.2. Depósitos Coluviales (Qh-co).....	13
3.1.3. Depósitos Aluviales (Qh-al).....	14
3.1.4. Depósitos Proluviales (Qh-pl).....	14
3.1.5. Depósitos Eólicos (Qh-e).....	15
3.1.6. Depósitos Antropogénicos (Q-ant).....	16
4. ASPECTOS GEOMORFOLOGICOS.....	16
4.1. Pendientes del terreno.....	16
4.2. Unidades Geomorfológicas.....	18
4.2.1. Unidad de colina y lomada.....	18
4.2.2. Unidad de Ladera.....	18
4.2.3. Unidad de Piedemonte y abanico.....	19
4.2.4. Otras Geoformas fluviales.....	19
5. PELIGROS GEOLOGICOS.....	22
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Quebrada Buen Pastor.....	22
5.1.1. Caída de rocas.....	22
5.1.2. Flujos de lodo.....	23
5.1.3. Flujos de detritos.....	24
5.2. Simulación de flujo de detritos.....	27
5.3. Otros Peligros geológicos – Quebrada Buen Pastor.....	30
5.3.1. Arenamiento.....	30
5.4. Factores condicionantes.....	31
5.5. Factores desencadenantes.....	31
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES.....	32
8. BIBLIOGRAFIA.....	33
ANEXO 01: MAPAS.....	34

## RESUMEN

El presente informe, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos en la quebrada Buen Pastor, perteneciente al distrito de Samuel Pastor, provincia Camaná y 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.

La quebrada Buen Pastor presenta depósitos proluviales no consolidados formados en la zona alta y media de la quebrada, constituida por bloques (4%), gravas (30%) en matriz areno-limosa (66%) con cierto contenido de cenizas retrabajadas. Para la zona media-baja se presentan parcialmente consolidados, y se conforman de bloques (35%), gravas (30%) en matriz areno-limosa (40%) con cierto contenido de cenizas retrabajadas.

La geomorfología que se observa son colinas con pendientes fuertes a muy fuertes (15°- 45°) y lomadas de inclinación suave a moderada (1°- 15°) en roca sedimentaria. Abanico de piedemonte con pendientes suaves a moderadas (1°- 15°). Laderas en roca sedimentaria con pendientes moderadas a muy fuertes (5°- 45°). Cauce de quebrada con un fondo de cauce de pendientes suaves a moderadas (3°- 15°) y paredes de la quebrada con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25°- 45° y >45°)

Los peligros geológicos identificados en la quebrada Buen Pastor comprenden movimientos en masa como caída de rocas, flujos de lodo, flujos de detritos, y otros peligros geológicos como arenamiento, Siendo los flujos de lodo recientes y flujo de detritos antiguos los principales que se canalizan en la quebrada antes mencionada. Estos movimientos en masa pueden ser detonados por precipitaciones pluviales intensas, y/o prolongadas, y de gran magnitud, a causa de las actividades antrópicas existentes en esta quebrada.

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

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 este sector.

## 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 Samuel Pastor, provincia de Camaná y departamento de Arequipa, mediante Oficio N° 067-A-MDSP-2023; es en el marco de nuestras competencias que se realiza la evaluación de peligros geológicos, de movimientos en masa, tipo Flujos de lodo y Flujos de detritos.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a los Ingenieros Bety Ccorimanya Chalco y Yhon Soncco Calsina, para que realicen la evaluación de peligros geológicos en la quebrada Buen Pastor, la cual se llevó a cabo el 01 y 02 de setiembre 2023. Para los trabajos de campo se realizaron coordinaciones con representantes de la Unidad de Defensa Civil de la Municipalidad Distrital Samuel Pastor.

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 Samuel Pastor, 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:

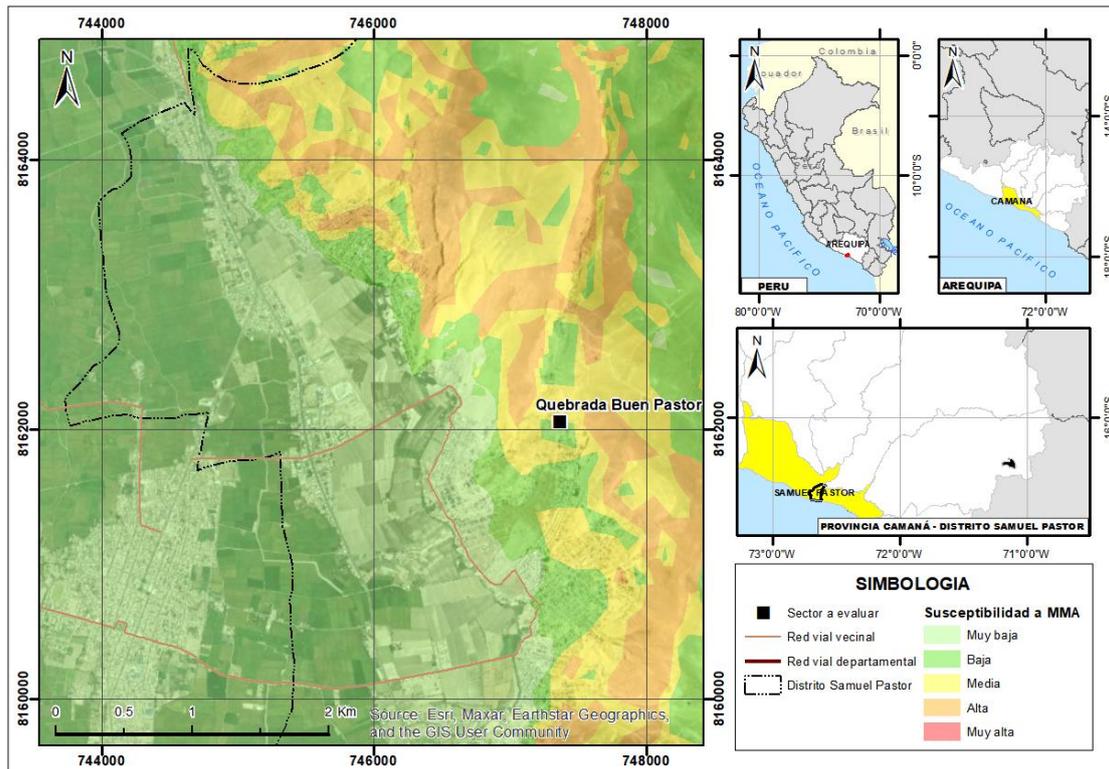
- a) Evaluar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos que ocurren en el ámbito de la quebrada Buen Pastor del distrito de Samuel Pastor.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros de movimientos en masa.
- c) Proponer alternativas 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° 26, Serie L, Hojas 34q1, 34q4: Geología del Cuadrángulo de Camanaá. Mapa Geológico del cuadrangulo de Camaná a escala 1:50 000” (Ccallo, W.; Torres, D.; Soberón, D.; Santos, A.; Aguilar, R. & Ayala, L., 2021). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde en gran parte a la Formación Camaná.

- Zavala, B.; Vílchez, M. & Rosado, M., (2013). “Susceptibilidad a movimientos en masa en la cuenca del río Camaná-Majes-Colca, Arequipa”. En el Foro Internacional de Peligros Geológicos, Arequipa, 14-16 octubre 2013.  
 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 a media, en esos años y estudios; que ocn el estudio reciente puede reafirmarse ó reclasificarse (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 la quebrada Buen Pastor, se encuentra en susceptibilidad alta a muy alta a los movimientos en masa.

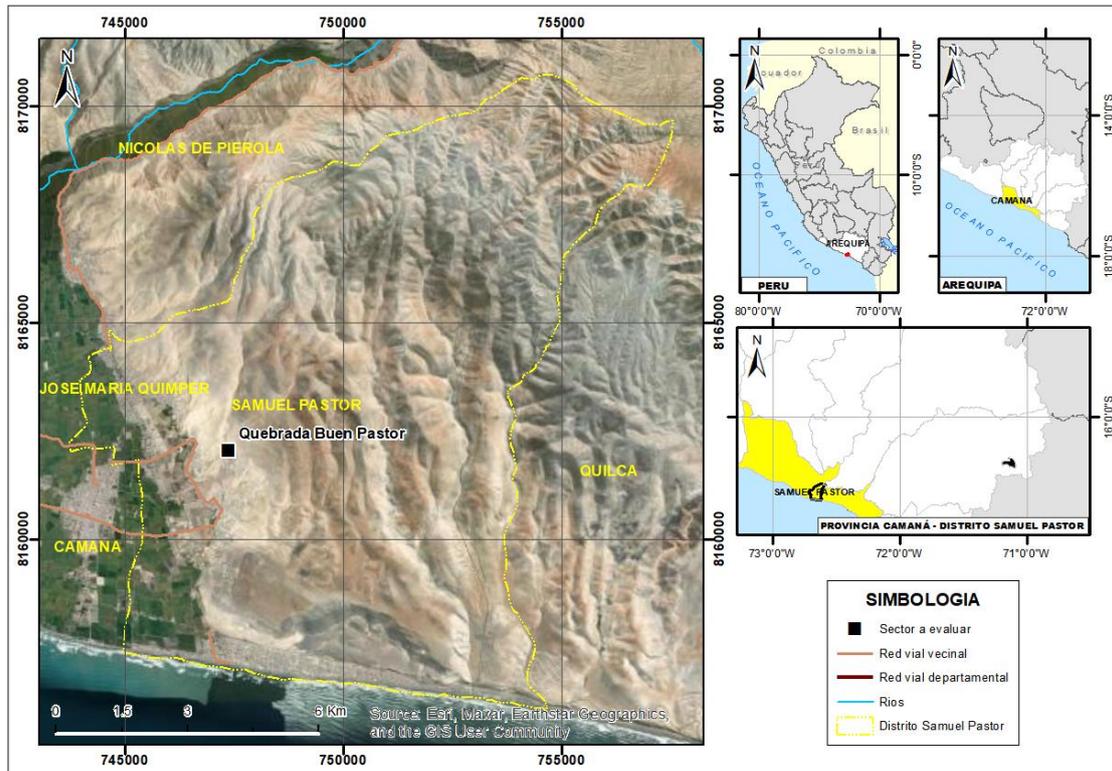
### 1.3. Aspectos generales

#### 1.3.1. Ubicación

La microcuenca Buen Pastor se encuentra ubicada en el distrito Samuel Pastor, provincia Camaná, departamento Arequipa (Figura 2). Pertenece a la intercuenca 133, de la cuenca del río Camaná-Majes-Colca. Sus coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) son las siguientes:

**Tabla 1.** Coordenadas de ubicación de la quebrada evaluada.

Quebrada	UTM – WGS84 – Zona 18S		Geográficas	
	X - Este	Y - Sur	Latitud	Longitud
Buen Pastor	747387.48 m E	8162020.34 m S	16°36'40.43" S	72°40'52.11" W

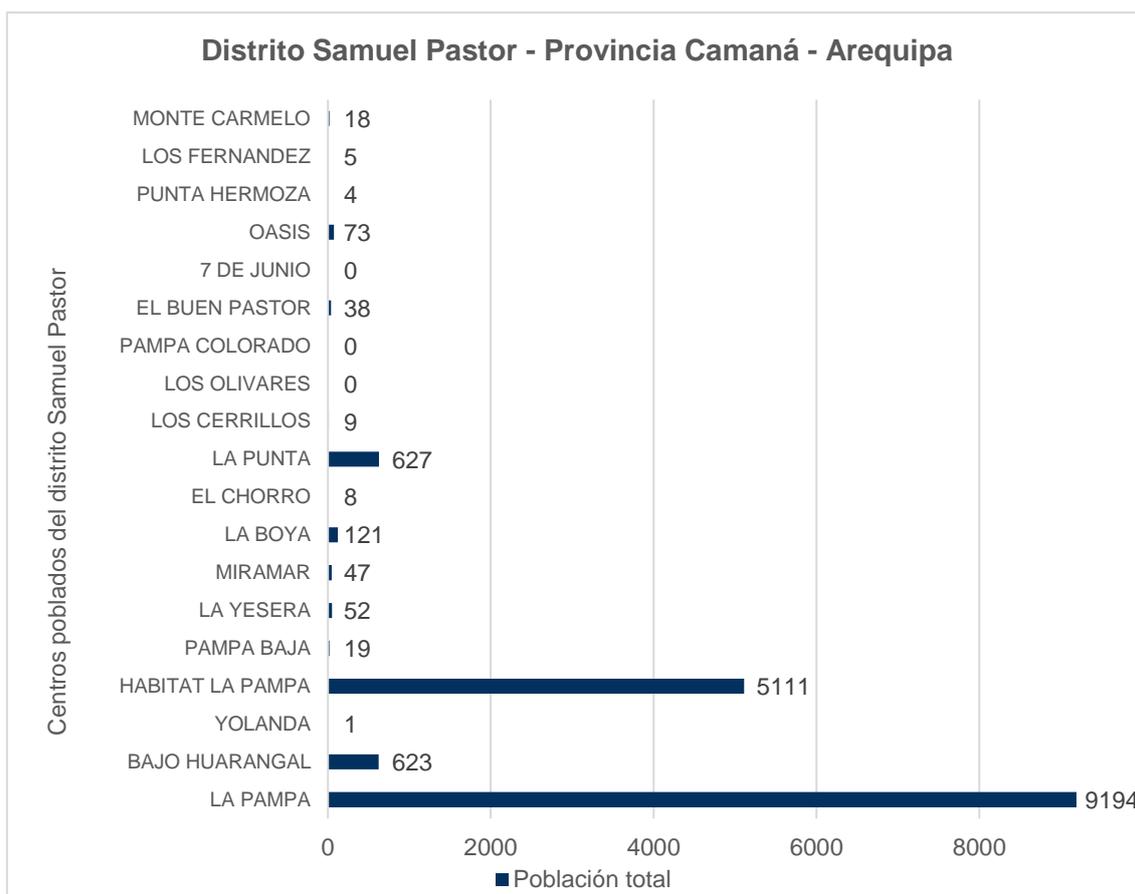


**Figura 2.** Ubicación del área de evaluación.

### 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 Samuel Pastor cuenta con una población total de 15 950 habitantes entre hombres (7 879) y mujeres (8 071) distribuidos en 8 722 viviendas particulares. De estas, 7 077 viviendas se encuentran ocupadas y 1 645 desocupadas.

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, el centro poblado El Buen Pastor cuenta con una población total de 38 habitantes y el centro poblado Habitat La Pampa cuenta con una población total de 5111 habitantes (Figura 3).



**Figura 3.** Población total de los centros poblados del distrito de Samuel Pastor, provincia Camaná - Arequipa. **Fuente:** INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda, 2017.

### 1.3.3. Accesibilidad

El acceso a la quebrada Buen Pastor del distrito de Samuel Pastor se realizó la ciudad de Arequipa, por vía terrestre, mediante la ruta mencionada en el Cuadro 1:

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

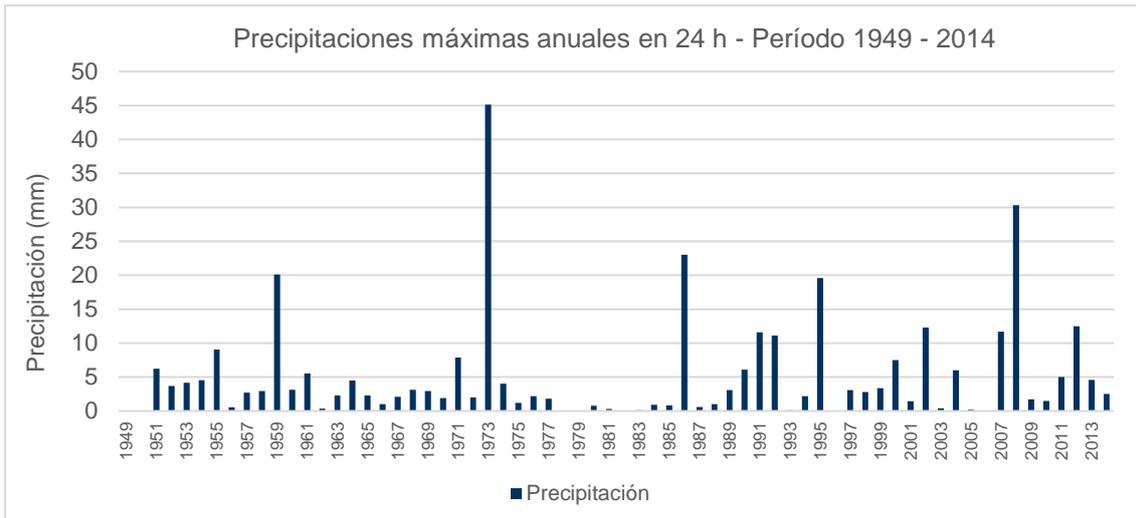
Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Camaná – Samuel Pastor (quebrada Buen Pastor)	Carretera asfaltada	176	3 h 04 min

### 1.3.4. Clima

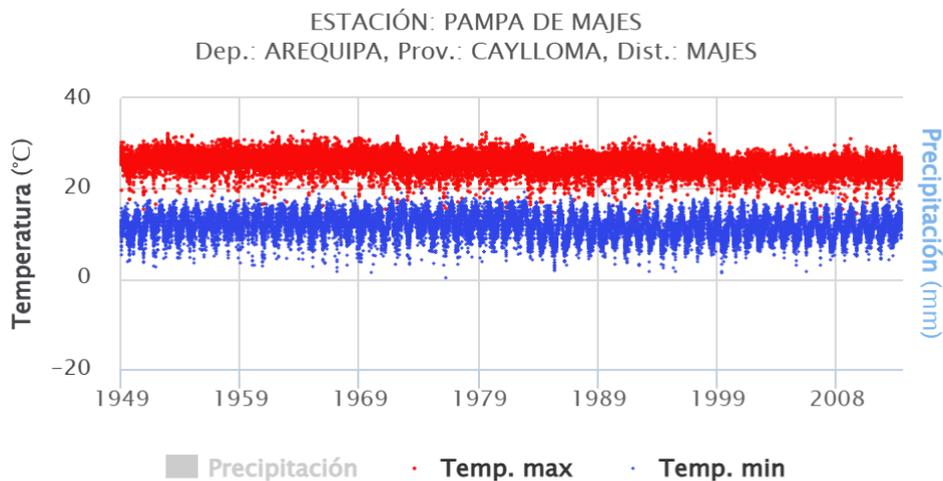
La quebrada Buen Pastor del distrito de Samuel Pastor cuenta con un clima de tipo Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, templado - E (d) B' con temperaturas máximas entre 19 °C a 31 °C y mínimas entre 3 °C y 21 °C.

La cantidad de lluvia según datos pluviométricos de la estación meteorológica convencional Pampa de Majes (SENAMHI) en el período 1949 – 2014, registra una precipitación máxima de hasta 45.11 mm en febrero del año 1973 (Figura 4), enfatizando que la lluvia mas intensa ocurre entre los meses diciembre y marzo.

La Figura 4 permite observar con qué frecuencia se producen anomalías en la lluvia que provocan la erosión del suelo y muestra las precipitaciones totales mensuales en milímetros, distribuidas a lo largo del período 1949 – 2014.



**Figura 4.** Histograma de precipitaciones totales mensuales en mm, estación Pampa de Majes: 1949 – 2014.  
**Fuente:** Estación meteorológica convencional Pampa de Majes - SENAMHI.



**Figura 5.** Histograma de temperaturas máximas y mínimas diarias – Estación Pampa de Majes, distribuidas a lo largo del periodo 1949 - 2014. **Fuente:** Estación meteorológica convencional Pampa de Majes - 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:

**Abandonado:** Estado de actividad de un movimiento en masa en el cual la causa de la inestabilidad del movimiento ha dejado de actuar (WP/WLI, 1993).

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

**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.

**Arenamiento:** Es un tipo de movimiento en masa que se produce cuando una masa de arena se desplaza por la acción de la gravedad. Este tipo de movimiento puede ocurrir en zonas costeras o en zonas desérticas, donde la arena es arrastrada por el viento.

**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.

**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.

**Eólico:** Generado por la acción del viento. Materiales transportados y depositados por el viento, o forma del terreno debida a esta acción.

**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 Canalizado:** Tipo de movimiento en masa en el cual el material desplazado se mueve preferencialmente a lo largo de un cauce o canal.

**Flujo No canalizado:** Tipo de movimiento en masa en el cual el material desplazado se mueve preferencialmente a lo largo de una ladera y sin un canal definido.

**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.

**Flujo de lodo:** Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad > 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al de flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que en los primeros hay licuación in situ sin un incremento significativo del contenido de agua (Hung et al., 2001).

**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.

**Limo:** Partículas de suelo que pasan por el tamiz No. 200 (0.074 mm) y mayores de 2 micrones. Se identifican porque tienen un comportamiento ligeramente plástico, o sin plasticidad, cualquiera que sea la humedad y tienen una resistencia muy baja o nula al secarse al aire.

**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).

**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 Camaná, Hojas 34-q1, a escala 1:50,000 (Ccallo, W.; Torres, D.; Soberón, D.; Santos, A.; Aguilar, R. & Ayala, L., 2021).

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

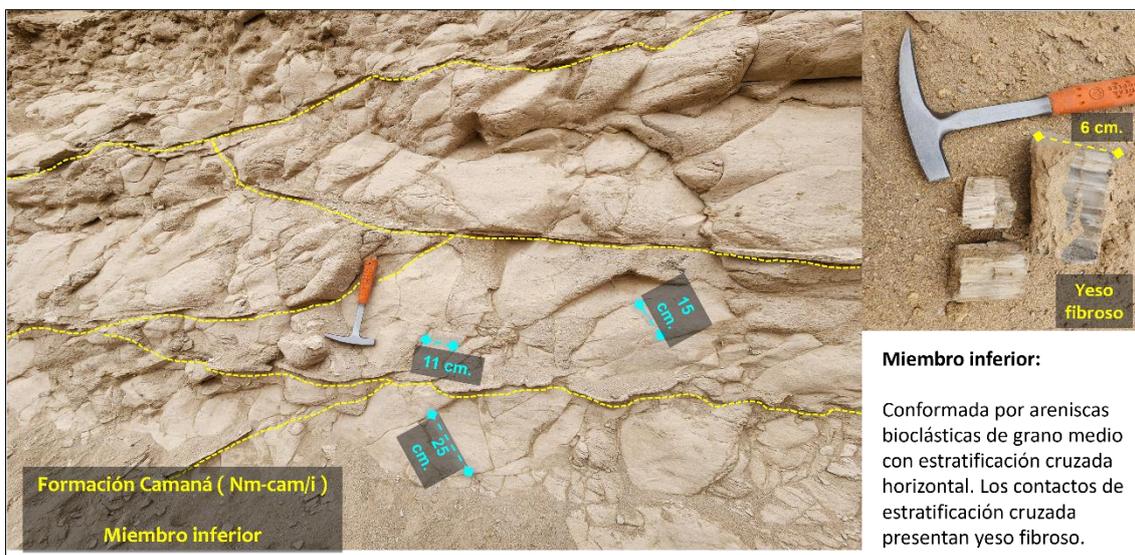
#### 3.1. Unidades Litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a ambientes continentales y depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, proluvial, eólicos y antropógenos (Mapa 01 del Anexo 01).

##### 3.1.1. Formación Camaná (Nm-cam)

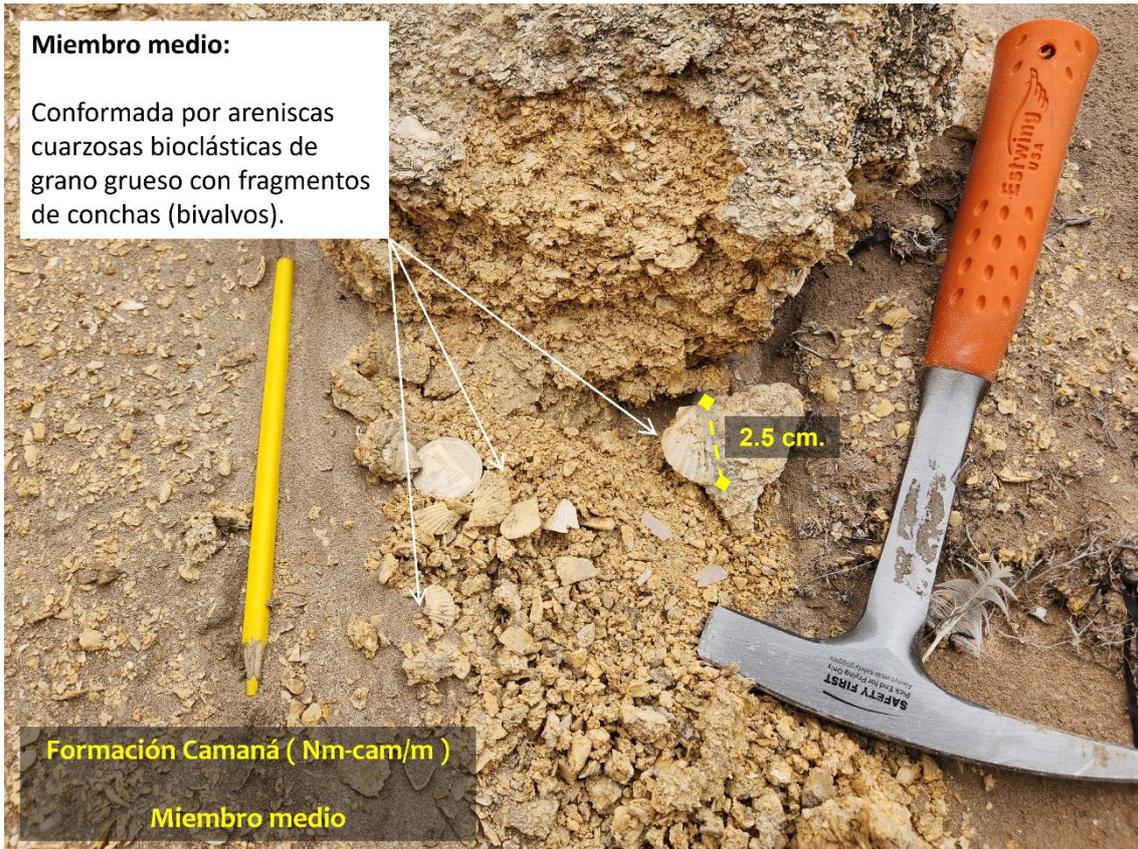
La Formación Camaná fue dividida en tres miembros, tomando como base la cartografía geológica a escala 1:50 000 y estudios anteriores, donde se identificaron variaciones estratigráficas, paleontológicas e isotópicas.

En la margen derecha de la Quebrada Buen Pastor, se observa el afloramiento del miembro inferior de la Formación Camaná (Nm-cam/i) conformado por areniscas bioclásticas de grano medio con estratificación cruzada horizontal semiconsolidado. Los contactos de la estratificación cruzada se encuentran rellenos con yeso fibroso (Figura 6). El sustrato rocoso del miembro inferior se encuentra ligeramente meteorizado y muy fracturado, con espaciamentos entre 10 cm a 30 cm.

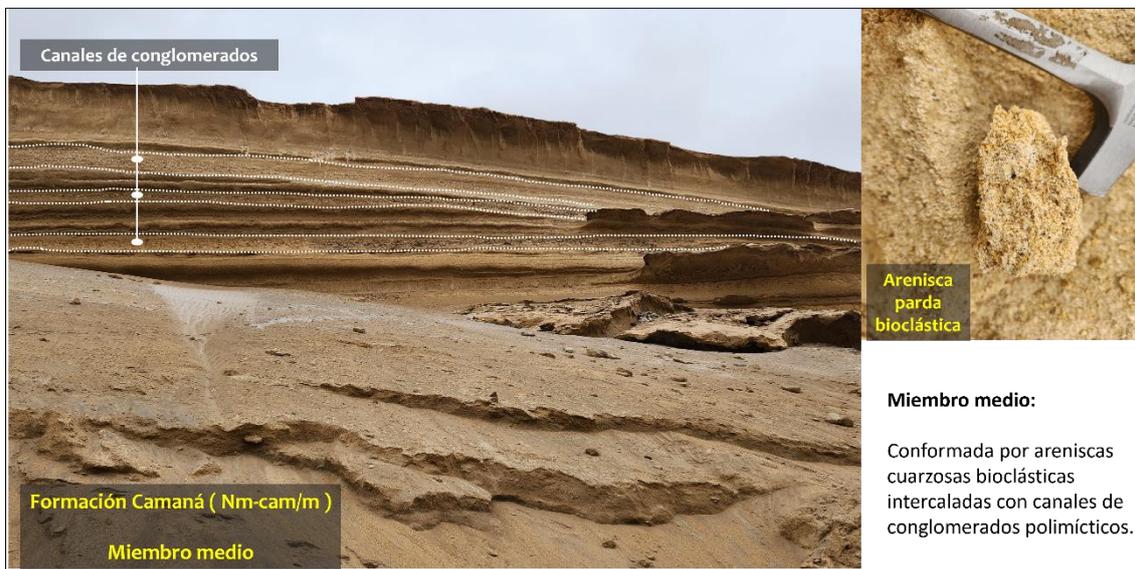


**Figura 6.** Sustrato rocoso de la Formación Camaná - miembro inferior, se observa estratificación cruzada.

En ambas márgenes de la quebrada Buen Pastor se observan afloramientos del miembro medio de la Formación Camaná (Nm-cam/m), compuesto por areniscas cuarzosas bioclásticas de grano grueso de tonos amarillentos a pardos con fragmentos de conchas (bivalvos) con tamaños de hasta 2,5 cm. (Figura 7), intercalados con canales de conglomerados polimícticos (Figura 8), en proceso de litificación, moderadamente meteorizados y poco fracturados.

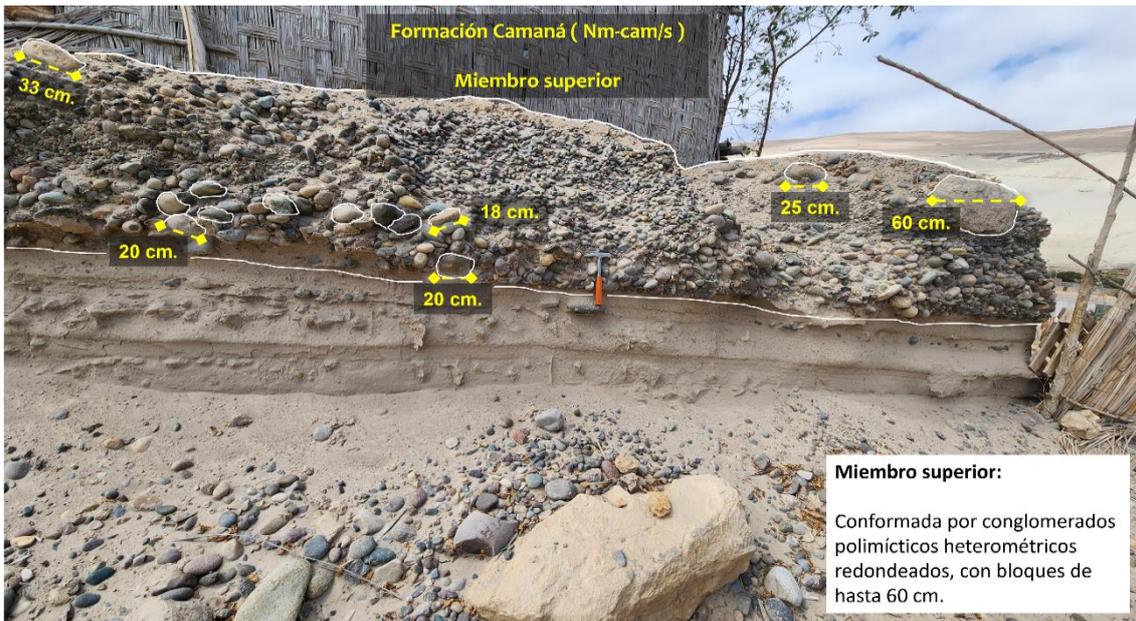


**Figura 7.** Sustrato rocoso de la Formación Camaná - miembro medio, se observa los fragmentos de fósiles de conchas bivalvos.



**Figura 8.** Sustrato rocoso de la Formación Camaná - miembro medio, se observa los canales conglomerádicos.

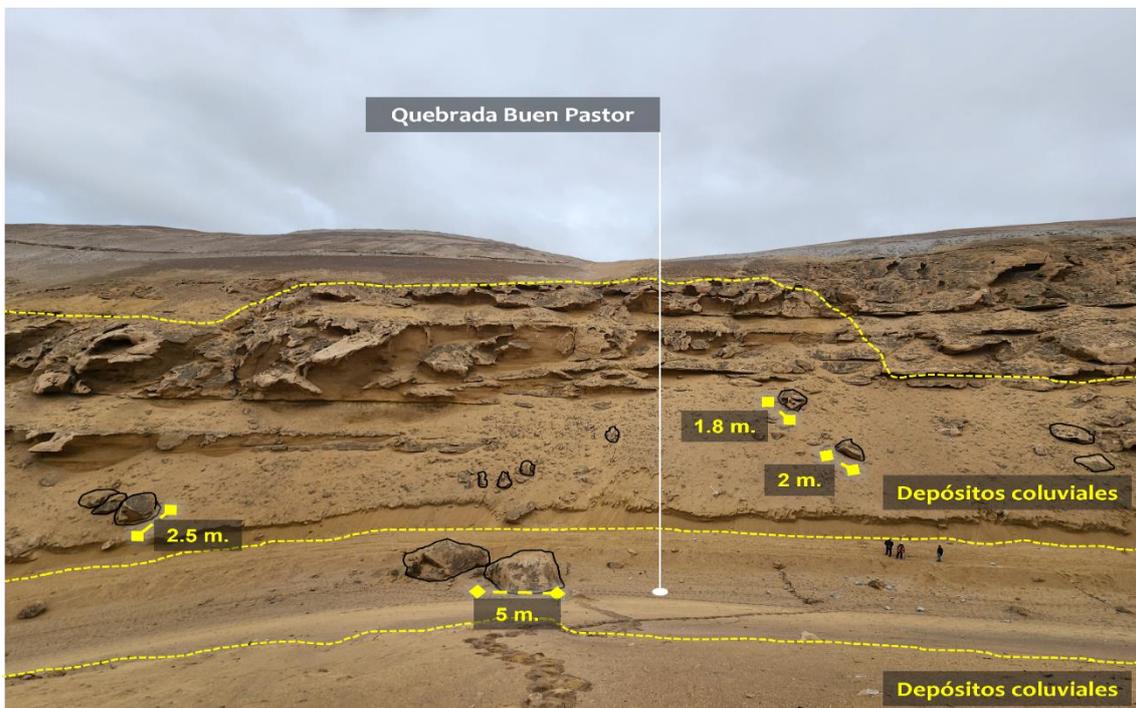
El miembro superior de la Formación Camaná (Nm-cam/s), se superpone al miembro medio y se extiende en ambas márgenes de la quebrada Buen Pastor a lo largo de la cima de las lomadas aledañas. El sustrato rocoso está compuesto por conglomerados polimícticos y heterométricos (Figura 9) con bloques (65 %) redondeados de hasta 60 cm de diámetro, gravas (30 %) en escasa matriz (5 %) areno-limosa.



**Figura 9.** Sustrato rocoso de la Formación Camaná - miembro superior, se observa conglomerados.

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

Estos depósitos se encuentran en las laderas de la quebrada Buen Pastor. Están compuestos por fragmentos de rocas polimícticas redondeadas y subredondeadas conformado por bloques dispersos con tamaños máximos de hasta 5 m, gravas dentro de una matriz areno limoso (Figura 10). Los elementos de estos depósitos no tienen ninguna selección, tratándose más bien de una mezcla heterogénea de rocas de formas (redondeadas a subredondeadas), los cuales van desde bloques (30%), gravas (25%), dentro de una matriz areno limoso (45%). Estos depósitos son producto de caída de rocas.



**Figura 10.** Depósitos coluviales en las laderas de la quebrada Buen Pastor con bloques dispersos de hasta 5 m.

### 3.1.3. Depósitos aluviales (Qh-al)

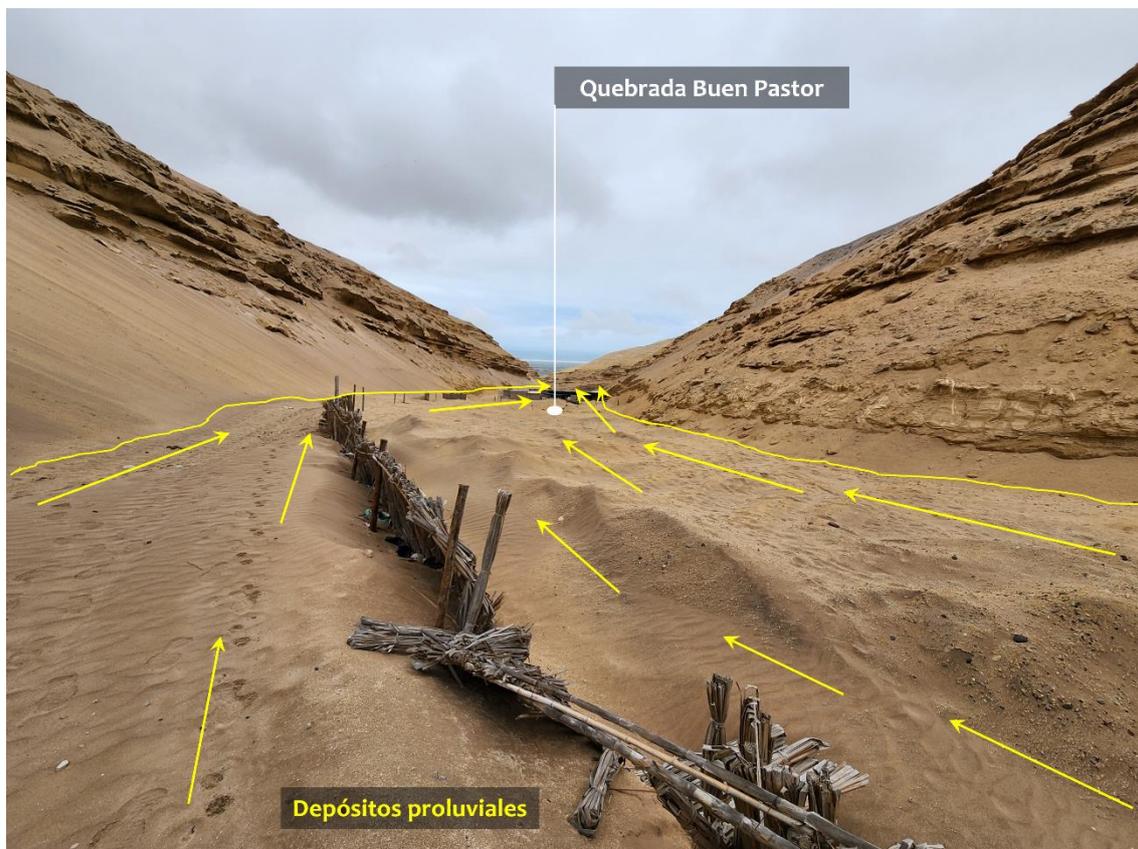
Los depósitos aluviales están compuestos por cantos y gravas polimícticas redondeados a subredondeados en matriz areno-limoso-arcilloso. Estos depósitos conforman las terrazas donde se desarrollan las actividades agrícolas del distrito Samuel Pastor y Camaná, se observan en ambas márgenes del río Camaná.

### 3.1.4. Depósitos proluviales (Qh-pl)

Los Depósitos proluviales en la quebrada Buen Pastor se encuentran no consolidados en la zona alta - media de la quebrada Buen Pastor, conformados por bloques aislados de hasta 15 centímetros (4%) y gravas (30%) en matriz areno-limosa (66%) con cierto contenido de cenizas retrabajadas. (Figura 11).

En la zona media-baja de la quebrada Buen Pastor, estos depósitos se encuentran parcialmente consolidados, conformados por bloques de hasta 25 centímetros (35 %), gravas (30 %), dentro de una matriz areno-limosa (40%) con cierto contenido de cenizas retrabajadas. Los fragmentos de rocas que componen estos depósitos son redondeados o subredondeados, y es por la presencia de fragmentos de rocas de la Formación Camaná miembro superior y miembro medio indica que los flujos de detritos fueron generados por la erosión de rocas de estas formaciones. (Figura 12).

Estos depósitos representan un peligro potencial para la población que habita en la zona media a baja de la quebrada Buen Pastor, ya que pueden ser movilizados por precipitaciones extraordinarias.



**Figura 11.** Depósitos proluviales en la zona alta-media de la quebrada Buen Pastor.



**Figura 12.** Vista de los Depósitos proluviales en la zona media-baja de la quebrada Buen Pastor.

### 3.1.5. Depósitos eólicos (Qh-e)

Los Depósitos eólicos en este sector se conforman de arenas finas, limos y cenizas retrabajadas, depositados en las laderas de la quebrada Buen Pastor, colinas y lomadas de los alrededores de la quebrada Buen Pastor.

Estos depósitos se caracterizan por estar sueltos, lo que permite la infiltración del agua. La infiltración del agua en los depósitos eólicos puede generar saturación de los terrenos, lo que los hace susceptibles a los movimientos en masa, como flujos. (Figura 13).



**Figura 13.** Vista de los Depósitos eólicos en las laderas de la quebrada Buen Pastor.

### 3.1.6. Depósitos antropogénicos (Q-ant)

Son depósitos generados por el hombre sin intervención de procesos de transformación industrial como: ruinas, desechos, coprolitos; construcciones civiles (terraplenes, diques de presas, enrocados, espigones, etc.).

En la zona media - baja de la quebrada Buen Pastor los depósitos antropogénicos están presentes en los cauces 1 y 2 de la quebrada (Figura 14). Los depósitos están compuestos por desechos generados por el hombre, como desechos de construcciones civiles (escombreras) y desechos de residuos sólidos.

Los depósitos antropogénicos presentes en los cauces pueden ser fácilmente arrastrados por el agua durante las lluvias. Esto podría incrementar el volumen y la fuerza de los flujos de lodo, lo que podría provocar flujo de detritos en la zona baja de la quebrada.



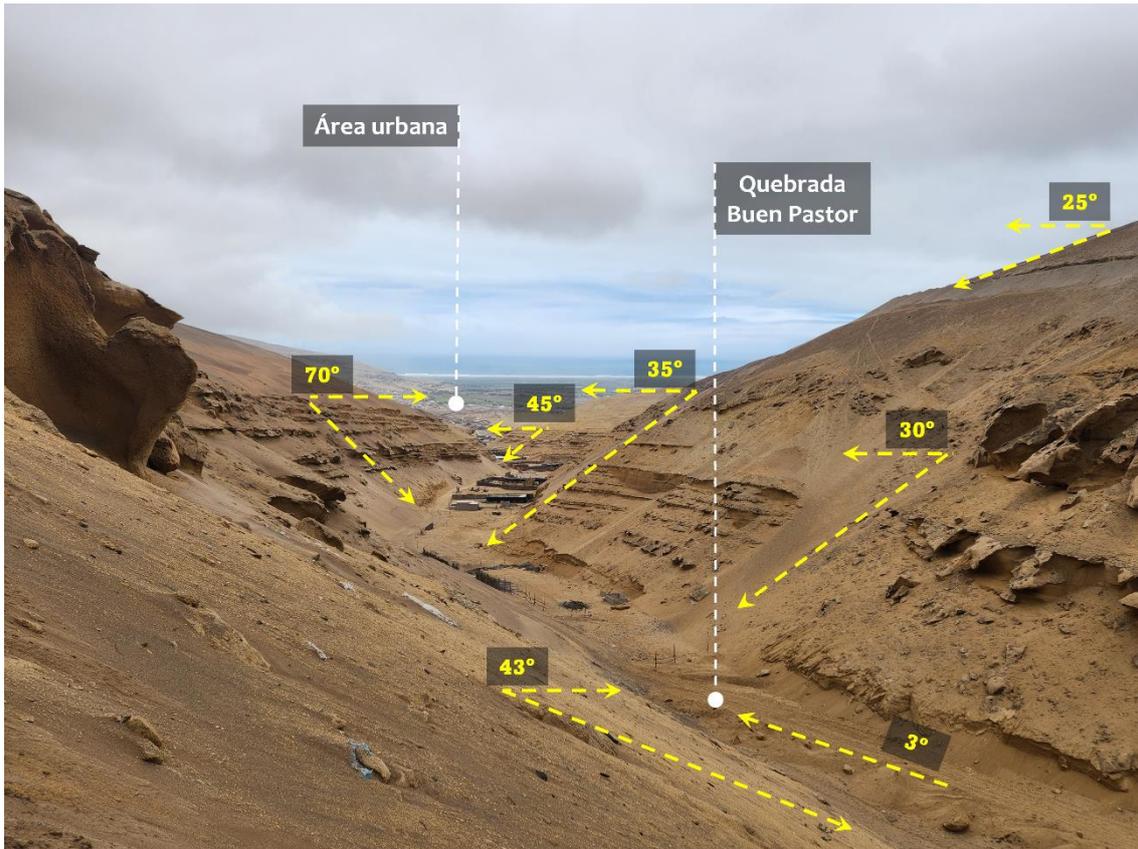
**Figura 14.** Depósitos antropogénicos. Vista del cauce principal de la quebrada Buen Pastor y cauce 2.

## 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.

**Quebrada Buen Pastor:** El fondo del cauce de la quebrada Buen Pastor tiene pendientes de inclinación suave a moderada ( $3^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). Por otro lado, las laderas de la quebrada y colinas en este lugar tienen pendientes mayores a  $25^{\circ}$  (pendientes muy fuertes a muy escarpados), lo que facilita la caída de rocas, erosión eólica y arenamiento del material suelto disponible en sus laderas (Figura 15). Por otro lado, el área urbana de Pueblo nuevo, Habitat La Pampa y Fundo Buen Pastor presenta pendientes de inclinación suave a moderado ( $8^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ). (Figura 16).



**Figura 15.** La figura muestra las pendientes del terreno muy fuertes a muy escarpadas  $\geq 25^\circ$  de las laderas de la quebrada Buen Pastor. Vista de la zona alta-media de la quebrada.



**Figura 16.** Se observa las Pendientes del terreno de la zona urbana Buen Pastor de inclinación suave a moderada ( $8^\circ$ - $15^\circ$ ). Vista de la zona media-baja de la quebrada.

En el Mapas 02 del Anexo 01, se presentan el mapa de pendientes del terreno. Este mapa fue elaborado 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, este mapa se apoya en la fotogrametría con Drone, donde se obtuvieron modelos digitales de elevación (DEM) de 17 cm de resolución para la quebrada Buen Pastor.

**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 colina y lomada

#### 4.2.1.1. Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-rs)

Las colinas y lomadas en el distrito Samuel Pastor, son formas de relieve que se forman por la erosión de rocas sedimentarias, que se componen por conglomerados y areniscas.

La erosión de estas rocas por el viento y el agua ha dado lugar a lomadas subredondeadas de inclinación suave a moderada (1°- 15°). Las laderas de las colinas también están erosionadas, con pendientes fuertes a muy fuertes (15°- 45°). Los desniveles de las colinas y lomadas pueden alcanzar hasta 203 metros. (Figura 17).

La presencia de surcos en las colinas es un indicador de que la geodinámica es un proceso activo en la zona. Estos surcos pueden ser causados por el agua de lluvia, el viento o el movimiento de masas.

### 4.2.2. Unidad de Ladera

#### 4.2.2.1. Ladera en roca sedimentaria (LA-rs)

Este tipo de laderas están presentes en ambos flancos de la quebrada Buen Pastor y a la vez se observa como parte de la transición entre las colinas y los abanicos de piedemontes (Figura 17). Se caracterizan por tener pendientes moderadas a muy fuertes (5°- 45°). La erosión de las laderas en este sector fue causada por el agua de

lluvia, el viento y el movimiento de masas, que erosionaron las rocas hasta formar laderas con pendientes fuertes.

#### 4.2.3. Unidad de Piedemonte y abanico

##### 4.2.3.1. Abanico de piedemonte (Ab)

La formación de los abanicos de piedemonte en el distrito de Samuel Pastor se debió a la acumulación de sedimentos transportados por el agua de lluvia de la quebrada Buen Pastor, presenta pendientes de inclinación suave a moderado ( $1^{\circ}$ -  $15^{\circ}$ ). Típicamente, estos abanicos de piedemonte se desarrollan en la base de las colinas.

La presencia de población y construcciones urbanas en el abanico aluvial de la quebrada Buen Pastor representa un riesgo potencial para la población (Figura 18). Los abanicos aluviales son áreas propensas a flujos de detritos en este sector.



**Figura 17.** Vista hacia el Norte. Se observan al fondo las colinas y lomadas en roca sedimentaria (RCL-rs), lomada en roca sedimentaria (L-rs), laderas en roca sedimentaria (LA-rs), el abanico de piedemonte (Ab) y el cauce de la quebrada Buen Pastor con la bifurcación en sus cauces C1 y C2.

#### 4.2.4. Otras Geoformas fluviales

##### 4.2.4.1. Cauce de quebrada (CQ)

El cauce de la quebrada Buen Pastor es una quebrada seca con un trazo poco sinuoso, con curvas suaves, en la zona alta - media el fondo del cauce tiene un ancho promedio de 50 metros con pendientes de inclinación suave a moderada ( $3^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) y está formado por depósitos acumulados de arenas, limos y cenizas re trabajadas. Las paredes de la quebrada tienen una altura promedio de 25 metros con pendientes muy fuertes a muy escarpadas ( $25^{\circ}$ -  $45^{\circ}$  y  $>45^{\circ}$ ). El ancho promedio de la quebrada entre las riberas es de 90 metros. (Figura 18).

En el caso de la zona media – baja de la quebrada Buen Pastor, el cauce se bifurca en dos cauces (Figura 17). La causa de esta bifurcación de la quebrada Buen Pastor puede

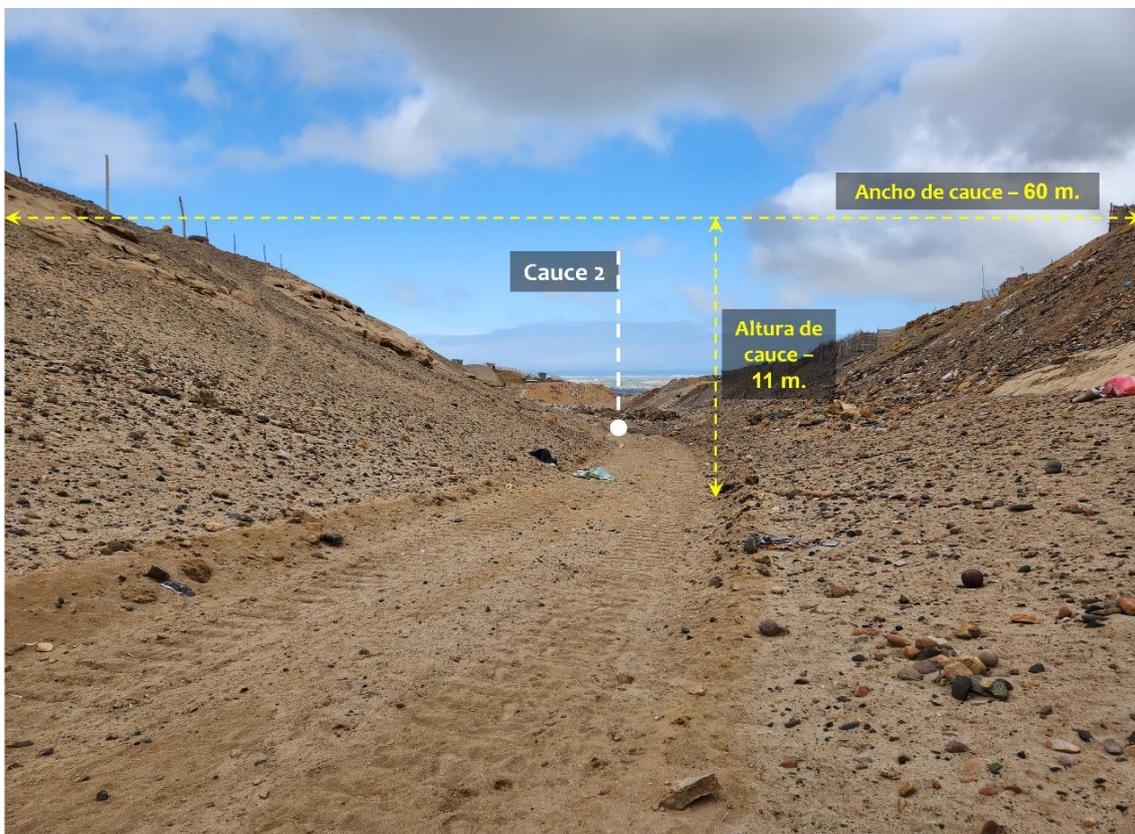
ser una combinación de factores, como el cambio en la pendiente del terreno, la presencia de un afloramiento rocoso (Formación Camaná) y la acción de las fuerzas erosivas. El ancho promedio del cauce de la quebrada Buen Pastor en la zona media-baja tiene una longitud de 36 metros y una profundidad de 8 metros (Figura 19), mientras que el cauce 2 resultado de la bifurcación cuenta con un ancho promedio de 60 metros y una profundidad de 11 metros (Figura 20).



**Figura 18.** Se observa el Cauce de quebrada (CQ) Buen Pastor en la zona alta-media. Vista hacia el norte.



**Figura 19.** La figura muestra material antropogénico en el cauce principal de la quebrada Buen Pastor, en la zona media-baja. En esta zona, la quebrada tiene un ancho promedio de 36 metros y una altura de cauce de 8 metros.



**Figura 20.** La figura muestra el cauce 2 de la quebrada Buen Pastor en la zona media-baja, con un ancho promedio de 60 metros y una altura de cauce de 11 metros.

## 5. PELIGROS GEOLOGICOS

### 5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa – Quebrada Buen Pastor

La descripción de los eventos geodinámicos en la quebrada Buen Pastor del distrito Samuel Pastor 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 18cm respectivamente. Además, se complementó con el análisis de imágenes satelitales.

El sector se caracteriza por presentar colinas en roca sedimentaria de estructuras moderadamente meteorizadas y poco fracturadas. Estas características generan peligros como caída de rocas.

La geodinámica activa afecta las laderas de estas colinas y los flancos de la quebrada Buen Pastor. Por otro lado, el fondo alto-medio de la quebrada Buen Pastor está compuesto mayormente por sedimentos finos entre arenas, limos y cenizas retrabajadas, mientras que el fondo medio-bajo de la quebrada está compuesto en gran parte por depósitos antropógenos, los que de acuerdo con su geodinámica pueden generar flujos de lodo y detritos respectivamente. (Mapa 04 del Anexo 01).

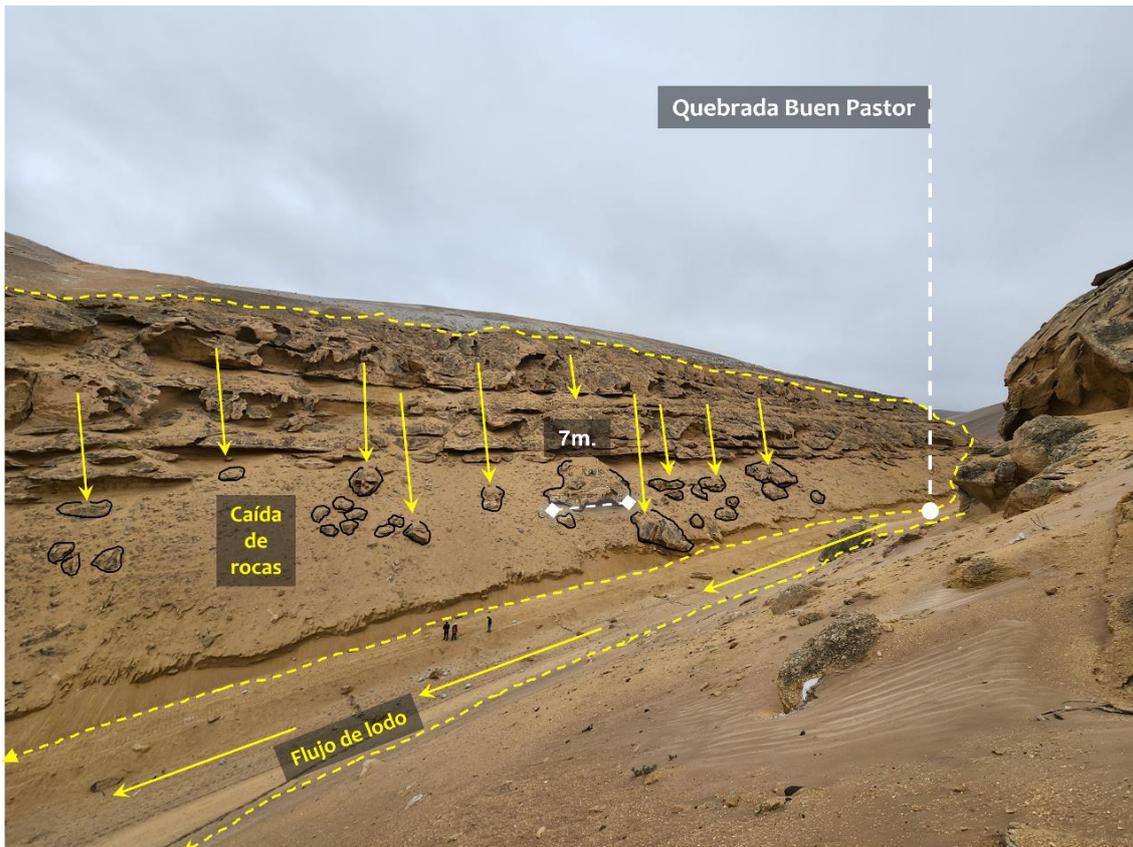
#### 5.1.1. Caída de rocas

Las caídas de rocas son frecuentes en las laderas de las colinas y los flancos de la quebrada Buen Pastor (Figura 21). Esto se debe a que el material de las colinas y los flancos de la quebrada está conformado por rocas en proceso de litificación de areniscas cuarzosas bioclásticas de grano grueso, con fragmentos de conchas (bivalvos) intercalados con canales de conglomerados polimícticos, moderadamente meteorizadas y poco fracturadas. Además, las pendientes fuertes a muy escarpadas ( $>15^\circ$ ) de los frentes rocosos de este lugar hacen que sean muy susceptibles a los movimientos en masa de este tipo.

La erosión eólica es otro factor que contribuye a las caídas de rocas en los frentes rocosos de los flancos de la quebrada Buen Pastor. Esta erosión se produce sobre los estratos horizontales de areniscas cuarzosas bioclásticas.

La erosión eólica produce la formación de estratos diferenciados según su compacidad, los que, al quedar colgados, suelen desprenderse en fragmentos rocosos. Los fragmentos rocosos que se desprenden pueden alcanzar dimensiones de hasta 7 metros. (Figura 21).

Las caídas de rocas son activas, se clasifican como **peligro alto** y constituyen una amenaza permanente en la zona Alta-media de la quebrada Buen Pastor.



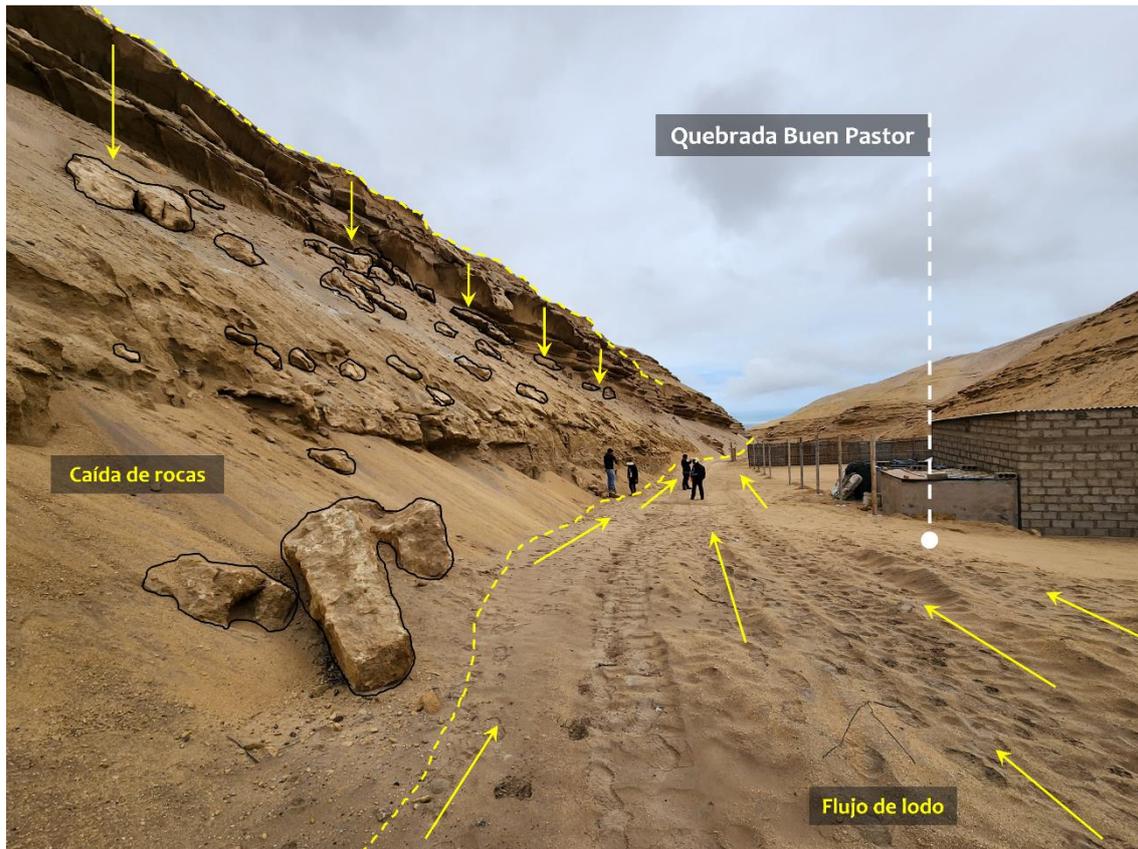
**Figura 21.** La figura muestra caída de rocas que se desprenden de las laderas de la quebrada Buen Pastor, con bloques de hasta 7 metros.

### 5.1.2. Flujos de lodo

El peligro de flujo en la quebrada Buen Pastor se caracteriza por el desplazamiento de material suelto que se encuentra en el fondo de la quebrada, que está compuesta principalmente por bloques (4%) y gravas (30%) en una matriz areno-limosa (66%) con cierto contenido de cenizas re trabajadas. Las pendientes del terreno del fondo de la quebrada son suaves a moderadas ( $3^\circ - 15^\circ$ ). Las precipitaciones máximas pueden saturar el suelo y hacer que el material suelto se desplace, generando flujos de naturaleza moderada y destructiva que pueden cubrir grandes distancias y causar daños significativos.

Cabe mencionar que este peligro se ha cartografiado en la zona alta-media de la quebrada Buen Pastor, donde también se han observado construcciones de galpones de criaderos de animales menores (Figura 22). Estos galpones podrían agregar volumen al flujo de lodo si son dañados y desprendidos de sus estructuras, afectando así en mayor medida a la zona media-baja de la quebrada.

La quebrada Buen Pastor se encuentra en **peligro alto a muy alto** por flujo de lodo.



**Figura 22.** La figura muestra material fino de arenas, limos y cenizas re trabajadas en el fondo de la quebrada en la zona alta-media. Este material puede generar flujos de lodo. Vista hacia el Sur.

### 5.1.3. Flujos de detritos

Los flujos de detritos en la quebrada Buen Pastor están compuestos por una matriz areno-limosa (40%) con un contenido de bloques (35%) y gravas (30%) de hasta 25 centímetros de tamaño, y cierto contenido de cenizas re trabajadas. Estos sedimentos se encuentran poco compactos.

En la quebrada Buen Pastor, los flujos de detritos pueden desarrollarse en la zona media-baja debido a las construcciones de galpones en la zona alta-media de la quebrada. Estos galpones podrían ser arrastrados por el flujo de lodo, agregando volumen y bloques al flujo. Además, los depósitos de escombreras y desechos sólidos que se encuentran en los cauces de la quebrada también podrían ser arrastrados por el flujo, aumentando aún más su volumen y fuerza destructiva. (Figura 23).

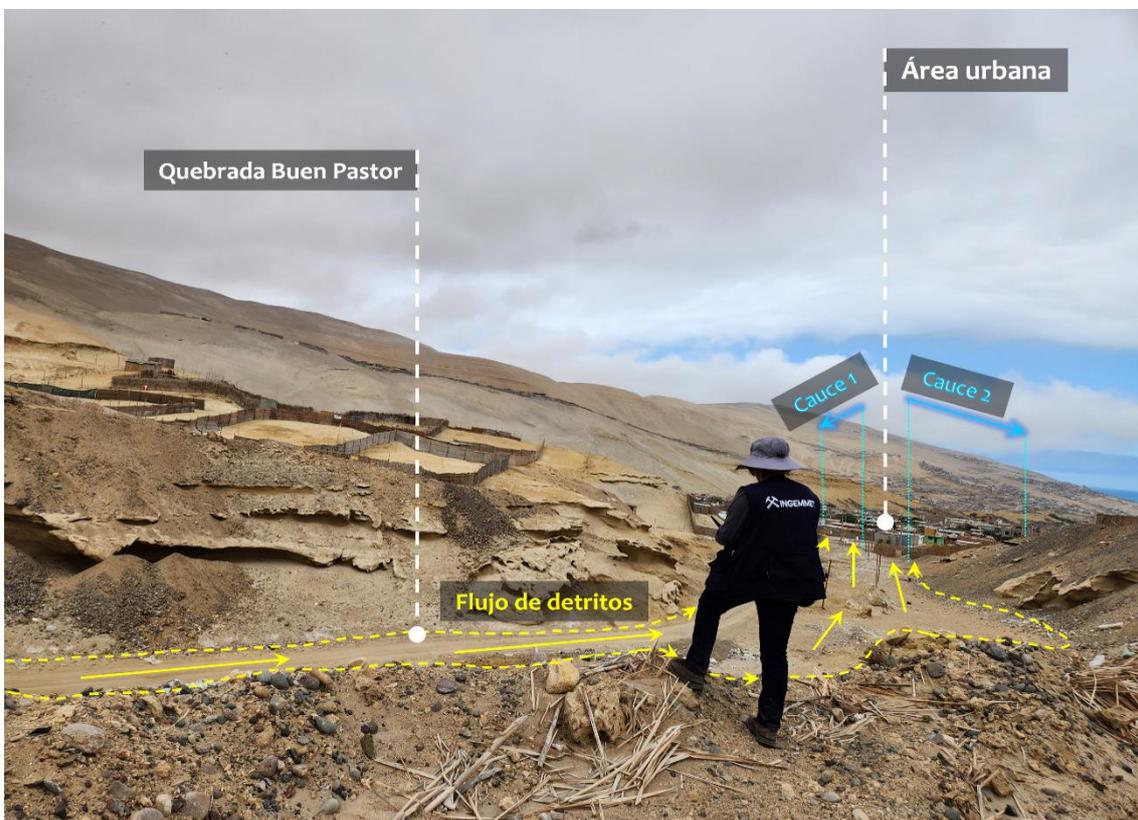
La quebrada Buen Pastor se bifurca en dos cauces en la zona media-baja (Figura 24). Estos cauces no están canalizados ni continuos, ya que han sido ocupados por viviendas y vías. Esto significa que un flujo de detritos podría afectar directamente a la población que vive en estas zonas. Además, la bifurcación de los cauces podría hacer que el flujo se desplace de manera impredecible, causando daños a viviendas y vías. (Figura 25).

Los flujos de detritos en este sector pueden ser causados por lluvia intensas y las actividades humanas desarrolladas en la quebrada. Las áreas afectadas de darse el flujo de detritos son Buen Pastor, Pueblo nuevo, Habitat La Pampa y Fundo Buen Pastor

La quebrada Buen Pastor se encuentra en **peligro alto a muy alto** por flujo de detritos.



**Figura 23.** La figura muestra material antropogénico en el cauce principal de la quebrada Buen Pastor en la zona media-baja. Este material, al ser incorporado al flujo de lodo, puede desencadenar flujos de detritos que pueden afectar a la zona urbana en este sector.



**Figura 24.** Esta figura muestra que, en la zona media-baja, la quebrada Buen Pastor se bifurca en dos cauces, C1 y C2, justo antes de llegar al área urbana consolidada. Vista hacia el sureste.



**Figura 25.** La figura muestra el trayecto de los cauces 1 y 2 los que en la zona baja pasan por el área urbana. Vista hacia el norte.

## 5.2. Simulación de flujo de detritos

En la quebrada Buen Pastor, la combinación de material detrítico y caudal líquido que se da durante las precipitaciones intensas genera un tipo de flujo No Newtoniano, es decir, una mezcla de sólido y líquido. La altura del flujo depende de la concentración de sus componentes. Cuando el flujo pierde su capacidad de transporte, se deposita el material detrítico en el sector de estudio. (Mapa S1 del Anexo 01).

Para conocer las características del comportamiento de un flujo de detritos (huaico) en la quebrada Buen Pastor, se realizó un modelamiento numérico con el software HecRAS. Los aportes de sedimentos se consideraron de los materiales sueltos disponibles en la cuenca en la zona de generación del flujo de detritos.

### ➤ Condiciones de entrada

Se emplearon las siguientes condiciones de entrada para la simulación:

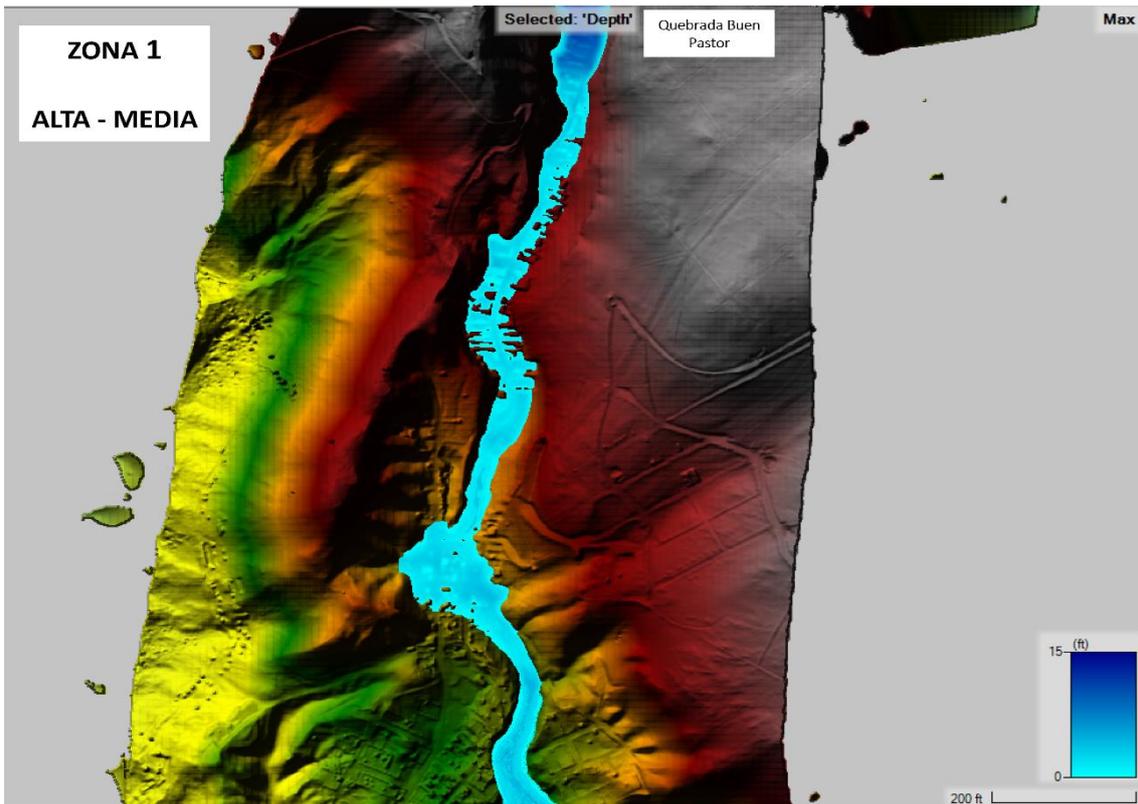
- Se utilizó registros de precipitación pluviométrica (máxima de 24h) de la estación Pampa de Majes – SENAMHI, para un periodo de 66 años (1949-2014).
- Una vez delimitada la cuenca, se calculó el área de la zona de generación de flujos, obteniendo un área de 7 621 288 m<sup>2</sup>.
- La información topográfica utilizada se generó a partir de un modelo digital de elevación (MDE) de 17 centímetros de resolución espacial, obtenido mediante sobrevuelo con dron y procesado por el INGEMMET. El modelo digital de elevación se utiliza para calcular la pendiente del terreno, que es un factor importante en el comportamiento de los flujos de detritos.
- Sobre el MDE, se delimitó el área a simular, la cual se extendió desde la zona de transporte hasta parte de la zona de depósito (área urbana). El área total del área simulada fue de 2 056 840 m<sup>2</sup>. Para el modelado, se generó una malla computacional con celdas de 6 m. x 6 m.
- Las condiciones de contorno para el desarrollo del flujo inestable fueron las siguientes: coeficiente de rugosidad de Manning de 0.035 para el cauce, 0.045 para las paredes del cauce y 0.015 para la zona urbana. La pendiente del cauce de la quebrada fue de 0.02 y el volumen del flujo fue de 394 399 m<sup>3</sup>. La simulación se realizó durante 24 horas con intervalos de 1 hora.
- Para el cálculo del volumen de flujo de detritos en el sector de evaluación, se utilizó la metodología de cálculo de volumen de flujos de detritos (huaicos) y lahares secundarios, considerando la infiltración según la teoría del número de curva (CN). (Soncco, Y., et al., 2022). Para ello, se utilizaron los siguientes datos:
  - ✓ Precipitación máxima registrada en 24 horas por el SENAMHI: 45.11 mm.
  - ✓ Abstracción inicial o umbral de escorrentía: 3 mm, que corresponde a un terreno permeable con pendiente  $\geq 3\%$  (Cuadro de valores de Po, España. MOPU, 1990).
  - ✓ Precipitación neta: 31 mm (Mockus, V., 1964).
  - ✓ Área de la zona de generación de flujos: 7 621 288 m<sup>2</sup>.
  - ✓ Porcentaje de agua que rompe la barrera de estabilidad del suelo para generar un flujo de detritos: 60%.
  - ✓ Con estos datos, se obtuvo un volumen de flujo de 394 399 m<sup>3</sup>.

## ➤ Resultados

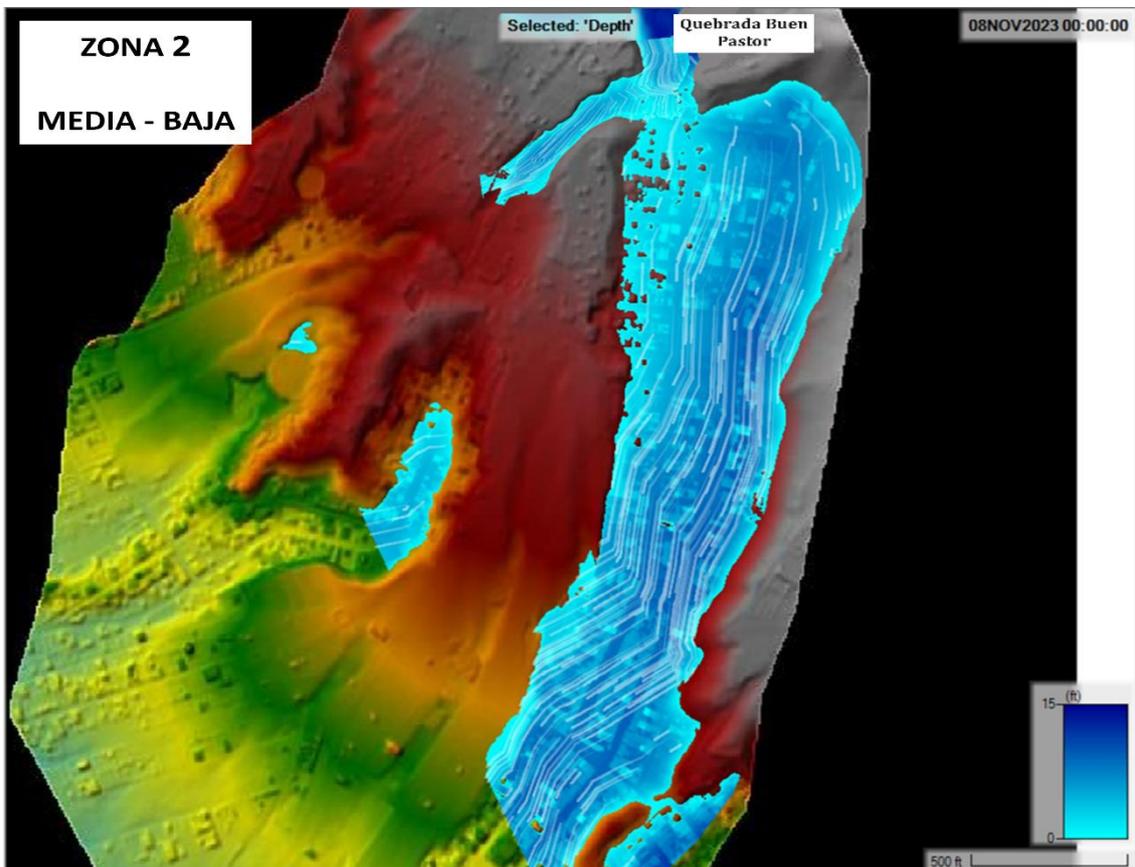
La simulación de flujos de detritos en la quebrada Buen Pastor indica la dirección por la que eventualmente discurriría el flujo de darse en un ambiente con la topografía actual ya modificada por agentes antrópicos. A la vez, indica la altura de flujo que podría alcanzar según su recorrido. Esto se observa en las figuras 26 y 27, donde se diferencian en tonalidades de azul oscuro hacia celeste claro los niveles del tirante de alcance del flujo, que van desde los 5 cm hasta los 3 m. Según estos resultados, se realizó el mapa S1 – Flujos de Detritos simulado en la quebrada Buen Pastor.

Como se observa en las imágenes, en la zona alta-media el flujo se mantiene encajonado en su cauce, hasta el punto de la coordenada 8162440.24 m S y 747320.61 m E, donde se observa un desborde del flujo a manera de empozamiento, en vista a que el canal en este punto no se encuentra bien definido y las pendientes son de inclinación suave. Una vez reconocido nuevamente su cauce, este flujo ingresa a la zona media-baja de la quebrada, donde inicialmente su recorrido se muestra encajonado, hasta que llega al punto de la bifurcación de la quebrada. Allí, el flujo se expande nuevamente reconociendo el cauce 1 modificada entrópicamente y cauce 2 de la quebrada. Hacia la zona urbana más consolidada se encuentra el cauce 1, el flujo recorre por las calles y viviendas.

Teniendo en cuenta la modificación de la topografía y la pendiente actual, este flujo se dirige en gran volumen y altura hacia la margen izquierda del cauce 1, apostándose y haciendo su recorrido a lo largo de esta margen, alcanzando una altura de tirante del flujo entre 1.5m a 3 m. Hacia los contornos, sobre todo a la margen derecha del cauce 1, la altura del flujo se va reduciendo, disipándose hasta alcanzar los 5 cm de altura. Sin embargo, por el volumen del flujo, este llega a cubrir gran parte de toda la zona urbana alojada en esta zona como son Buen Pastor, Pueblo nuevo, Habitat La Pampa y Fundo Buen Pastor.



**Figura 26.** La figura muestra el resultado de la simulación del Flujo de detritos (Flujo inestable) en la zona Alta-Media de la quebrada Buen Pastor.



**Figura 27.** La figura muestra el resultado de la simulación del Flujo de detritos (Flujo inestable) en la zona Media-Baja de la quebrada Buen Pastor.

### 5.3. Otros Peligros geológicos – Quebrada Buen Pastor

#### 5.3.1. Arenamiento

El peligro geológico por arenamiento es la amenaza que representa la acumulación de arena en un área, lo que puede causar daños a la propiedad e infraestructuras. El arenamiento en Samuel Pastor se produce por una serie de factores, como la erosión eólica y las actividades humanas.

El arenamiento observado en Samuel Pastor se encuentra en las laderas de las colinas donde habita gran parte de la población del distrito Samuel Pastor, así como en algunas zonas que han sufrido remoción de materiales con fines de construcción de viviendas en los alrededores de la quebrada Buen Pastor. (Figura 28).

Por otro lado, se observa arenamiento en los flancos de la quebrada Buen Pastor, en la zona Alta-media, conformado por arenas finas, limos y cenizas re TRABAJADAS. Su transporte y acumulación en el fondo de la quebrada puede provocar la bifurcación de la quebrada en dos o más cauces por entrapamiento. El material fino incrementa la viscosidad del lodo, lo que hace que el flujo de lodo sea más lento y, por lo tanto, más voluminoso.

La quebrada Buen Pastor se encuentra en **Peligro medio - alto** por arenamiento.



Figura 28. Se observa arenamiento en las laderas de las colinas en roca sedimentaria.

#### 5.4. Factores condicionantes

Las causas principales están relacionados a los siguientes factores:

- Factor: Litología

Depósitos eólicos en las laderas de la quebrada, depósitos proluviales no consolidados de flujos de lodo en la zona alta - media de la quebrada Buen Pastor, conformados por bloques y gravas en matriz areno-limosa con cierto contenido de cenizas retrabajadas. Depósitos antropógenos en la zona media de la quebrada constituidos por escombreras y desechos de residuos sólidos, los que al ser incorporados al flujo incrementarían el volumen del flujo y la cantidad de bloques, lo que haría que pase a ser un flujo de detritos de mayor magnitud en la zona baja de la quebrada.

- Factor: Geomorfológico

El cauce de la quebrada Buen pastor tiene pendientes de inclinación suave a moderada (3°-15°). Por otro lado, las laderas de la quebrada, colinas y lomadas en este lugar tienen pendientes mayores a 25° (pendientes muy fuertes a muy escarpados), lo que facilita la caída de rocas, erosión eólica y arenamiento del material suelto disponible en sus laderas. Estas características permiten que el material suelto se acumule en gran medida en el cauce y por efectos de la gravedad y la escorrentía estos discurran fácilmente.

#### 5.5. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas

El área puede verse afectada por flujos de lodo y flujos de detritos durante las temporadas de lluvias intensas y/o prolongadas. Estas precipitaciones pueden afectar las áreas urbanas de Fundo Buen Pastor, Habitat La Pampa, Pueblo nuevo y El Buen Pastor.

- Actividades antrópicas

Las actividades humanas pueden desencadenar flujos de detritos de varias maneras. Una forma es mediante la modificación del terreno, como la construcción de vías, viviendas y galpones en la quebrada Buen Pastor. Estas modificaciones pueden alterar las pendientes del terreno, la filtración del agua y la capacidad de soporte del suelo.

Otra forma de desencadenar flujos de detritos en este sector es mediante la acumulación de escombros. Los escombros pueden actuar como agentes de fricción, reduciendo la capacidad de movimiento del suelo. Esto puede generar una especie de diques, que pueden almacenar agua y material. Si estos diques se rompen, el flujo de detritos puede discurrir con mayor intensidad. La acumulación de escombros también puede aumentar la cantidad de material disponible para un flujo de detritos.

## 6. CONCLUSIONES

- La litología de la quebrada Buen Pastor varía según la zona. En la zona alta-media, los depósitos están compuestos principalmente por bloques (4%), gravas (30%) en una matriz areno-limosa (66%). En la zona media-baja, los depósitos están compuestos principalmente por bloques (35 %), gravas (30 %), en una matriz areno-limosa (40%) y cenizas re TRABAJADAS. También se encuentran depósitos eólicos en las laderas de la quebrada y depósitos antropógenos en el cauce de la zona media-baja, constituidos por escombreras y desechos de residuos sólidos.
- Las pendientes del terreno del fondo del cauce de la quebrada Buen pastor tienen pendientes de inclinación suave a moderada (3°-15°). Estas características permiten que el material suelto disponible en el fondo de la quebrada discurra fácilmente.
- La geomorfología de la quebrada Buen Pastor está conformada por colinas y lomadas en roca sedimentaria, Laderas en roca sedimentaria, Abanico de piedemonte y Cauce de quebrada.
- Los peligros geológicos encontrados en el sector son Caída de rocas, Flujo de lodo y Flujo de detritos y Arenamiento,
- Las caídas de rocas son de actividad activa, los arenamientos son de actividad suspendida, Flujos de lodo de actividad suspendida, Flujo de detritos inactivo latente, inactivo abandonado e inactivo relicto.
- La quebrada Buen Pastor por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas se considera de **Peligro Alto a Muy alto**.

## 7. RECOMENDACIONES

- Canalizar el cauce principal de la quebrada Buen Pastor y los cauces 1 y 2, con la finalidad de definir correctamente el curso de la quebrada.
- Construir defensas ribereñas en la quebrada Buen Pastor para controlar la erosión y el transporte de detritos.
- Construir diques de sedimentación en la quebrada Buen Pastor para retener los sedimentos.
- Restringir el crecimiento urbano en los cauces de la quebrada Buen Pastor, habilitando terrenos donde no se observen perturbaciones geológicas.
- Se sugiere restringir el crecimiento urbano en las laderas de colinas donde existe arenamientos, habilitando terrenos donde no se observen perturbaciones geológicas.
- Prohibir la acumulación de depósitos antropogénicos como escombreras y residuos sólidos en los cauces de la quebrada Buen Pastor.
- Evitar rellenar con fines de ganar terreno el cauce 2 de la quebrada Buen Pastor.
- Se debe realizar un estudio de Evaluación de riesgos de desastres (EVAR).
- Antes de realizar cualquier tipo de obras de prevención y mitigación en la zona, se debe considerar realizar el estudio de mecánica de suelos.
- Establecer un Sistema de Alerta Temprana comunitario para que la población esté preparada y pueda evacuar de manera oportuna en caso de alerta de flujo de detritos (huaico). Esto puede incluir sirenas, mensajes de texto masivos o alarmas locales.
- Reasentar en el mediano plazo la población ubicada a lo largo del curso de los cauces 1 y 2 de la quebrada Buen Pastor.

## 8. BIBLIOGRAFIA

Ccallo, W.; Torres, D.; Soberón, D.; Santos, A.; Aguilar, R. & Ayala, L. (2021) - Geología del cuadrángulo de Camaná. Lima, Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET, Boletín N°26, Serie L, Hojas 34q1, 34q4: Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 25 p., 2 mapas. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3165>.

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>.

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. (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/>

Soncco, Y., et al (2022). Cálculo de volumen de flujo de detritos (huaicos) y lahares secundarios. Considerando la infiltración según la teoría del número de curva (CN). Recuperado de [https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/4513/1/Soncco-Calculo\\_volumen\\_flujo\\_detritos.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/4513/1/Soncco-Calculo_volumen_flujo_detritos.pdf)



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

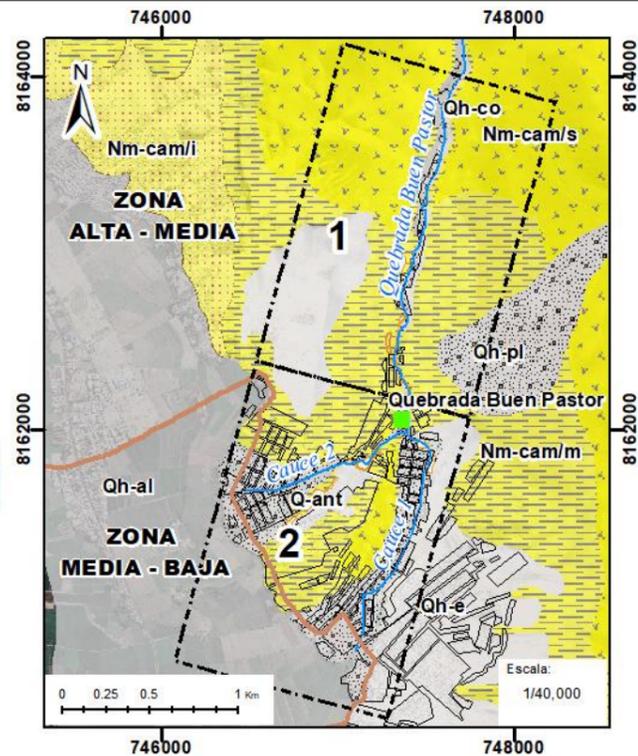
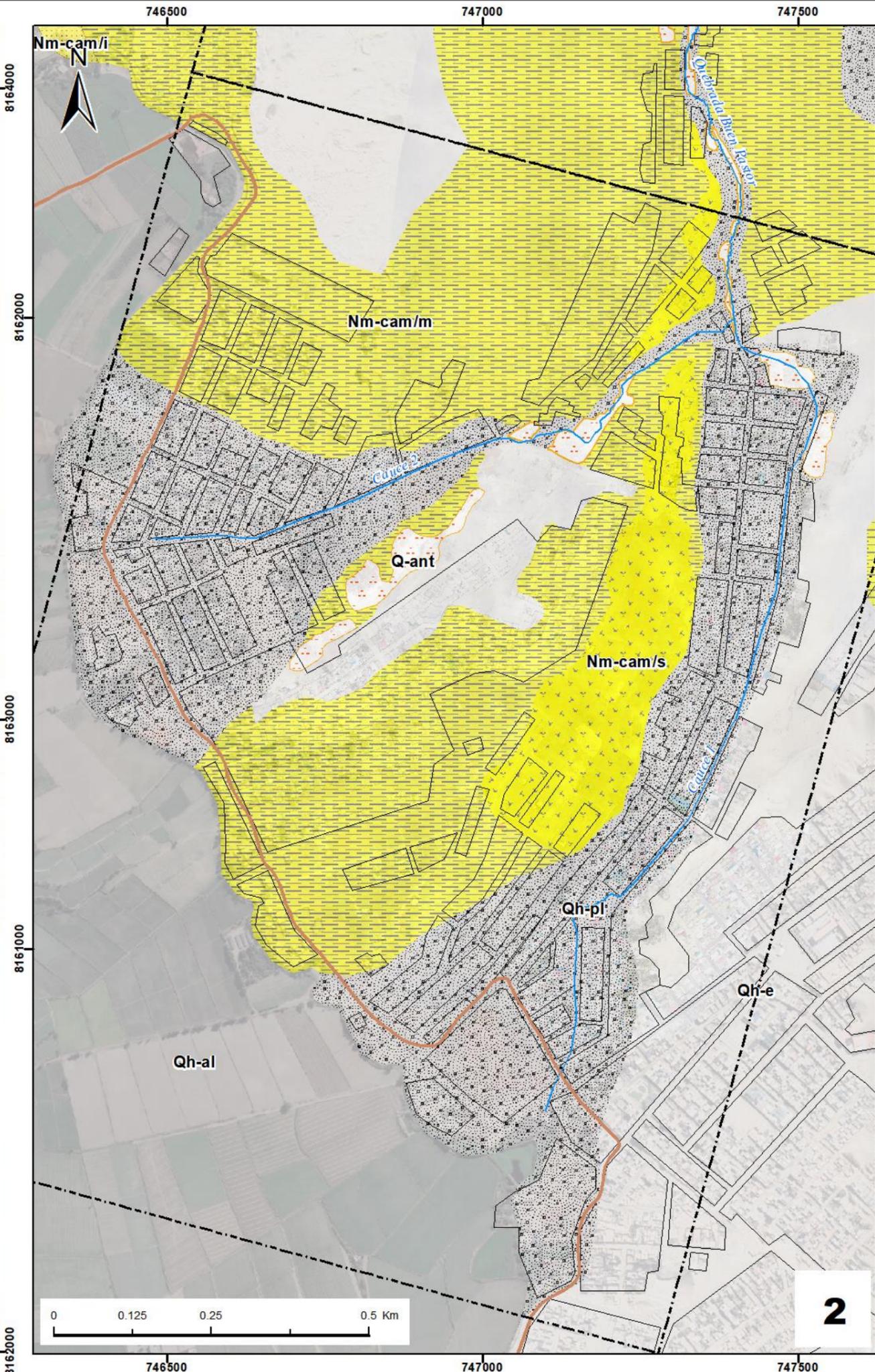
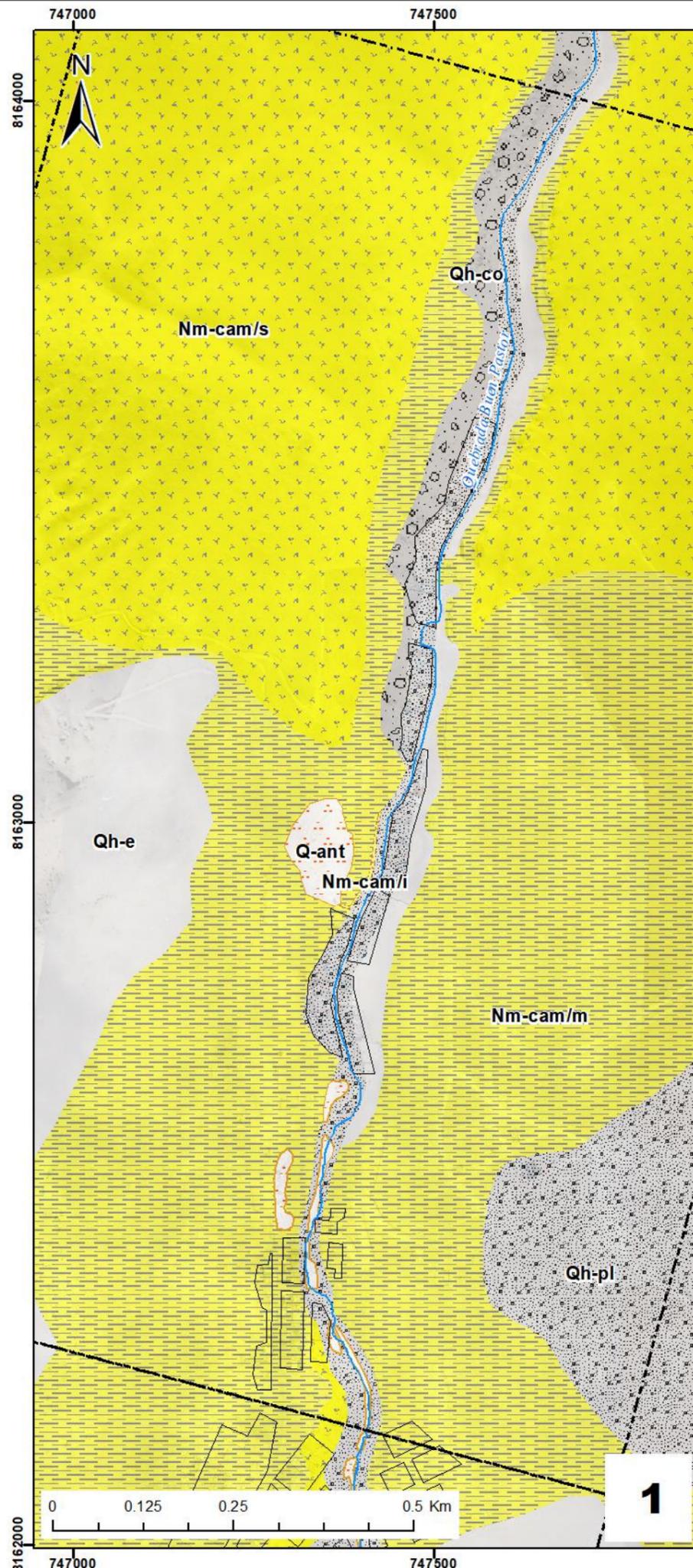


ING. JERSY MARIÑO SALAZAR  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## **ANEXO 01: MAPAS**

Se presenta los siguientes mapas:

- Mapa N°1. Geología de la quebrada Buen Pastor del mapa geológico del cuadrángulo de Camaná (Hojas 34-q1).
- Mapa N°2. Pendientes de los terrenos de la quebrada Buen Pastor.
- Mapa N°3. Geomorfología de la quebrada Buen Pastor.
- Mapa N°4. Cartografiado de peligros geológicos de la quebrada Buen Pastor.
- Mapa N°S1. Flujo de detritos simulado en la quebrada Buen Pastor.



**SIMBOLOGIA**

- Área de evaluación
- Sector a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebrada Buen Pastor
- Área urbana

**LEYENDA**

**Unidades Litoestratigráficas**

- Depósitos antropógenos
- Depósitos proluviales
- Depósitos coluviales
- Depósitos eólicos
- Depósitos aluviales
- Formación Camaná- Miembro superior
- Formación Camaná- Miembro medio
- Formación Camaná- Miembro inferior

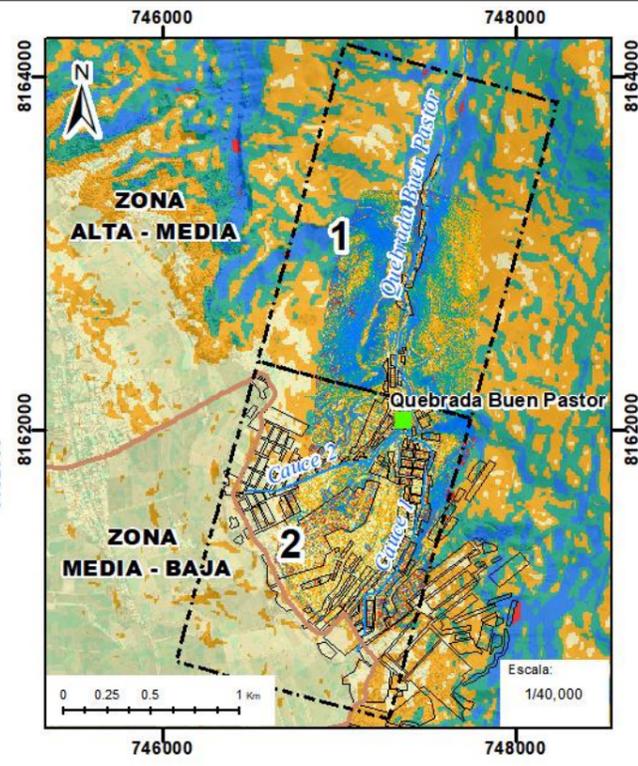
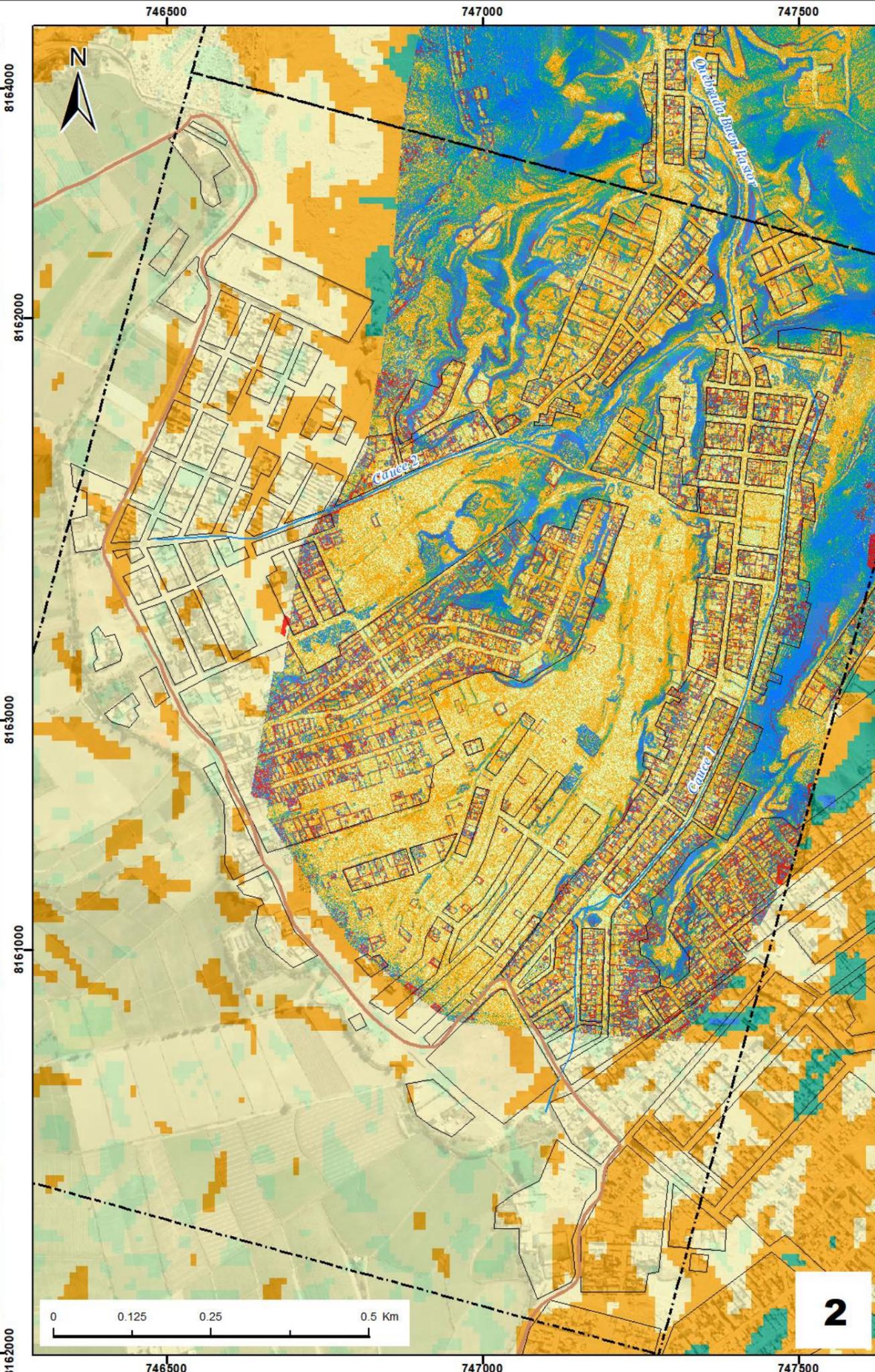
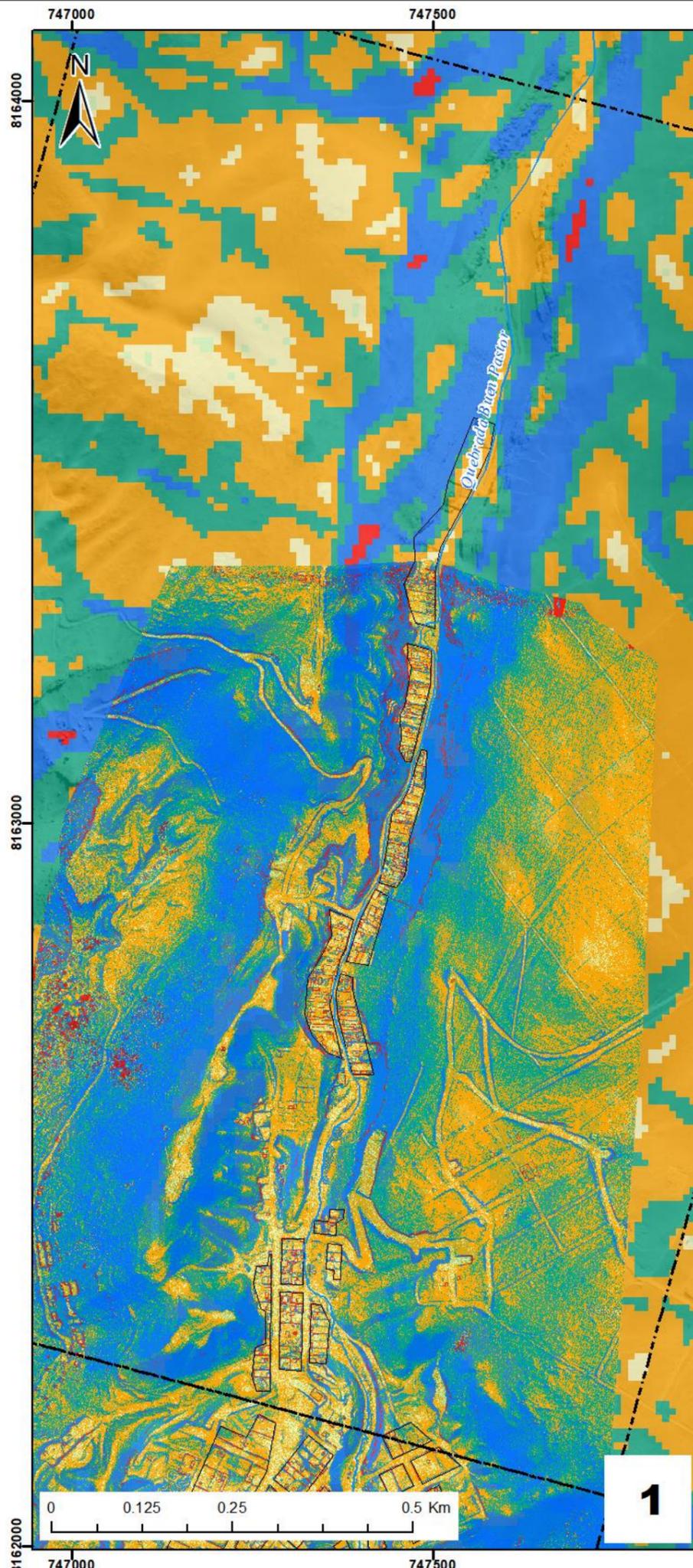
**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
 Provincia Camaná  
 Distrito Samuel Pastor

**GEOLOGIA DE LA  
 QUEBRADA BUEN PASTOR**

Escala: 1/7500	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 a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebrada Buen Pastor
- Área urbana

**LEYENDA**

**Pendiente (Grados)**

- 0° - 1°, Llano
- 1° - 5°, Inclínación suave
- 5° - 15°, Moderado
- 15° - 25°, Fuerte
- 25° - 45°, Muy fuerte
- > 45°, Muy escarpado

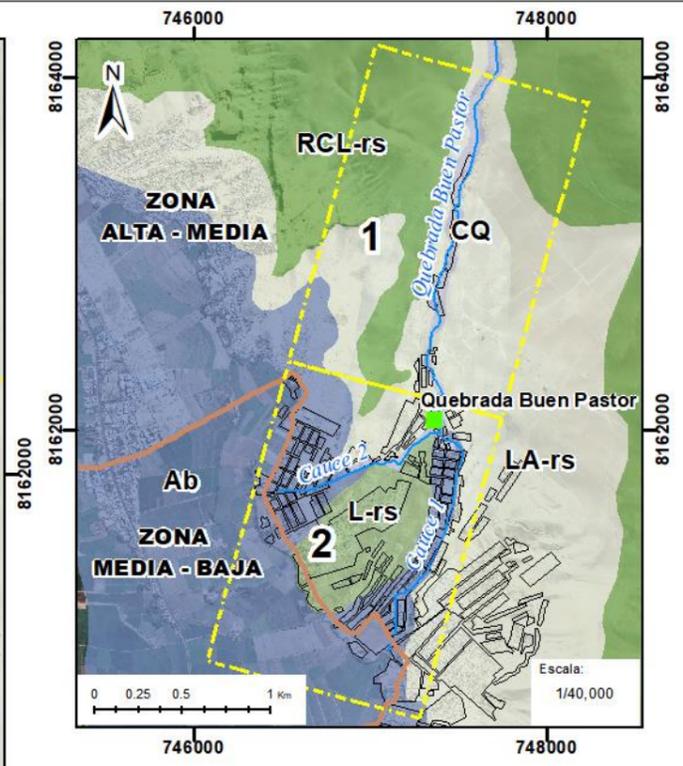
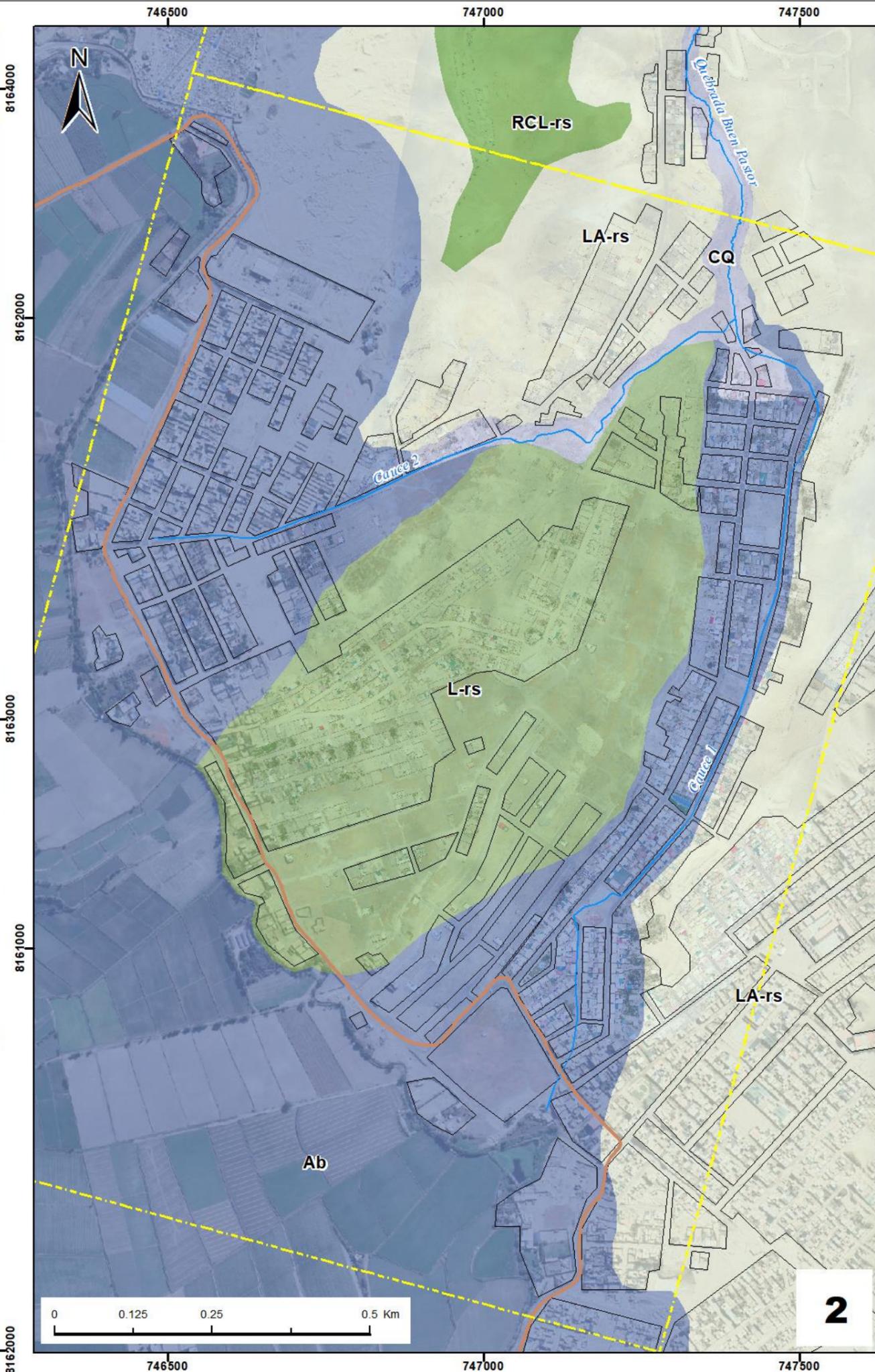
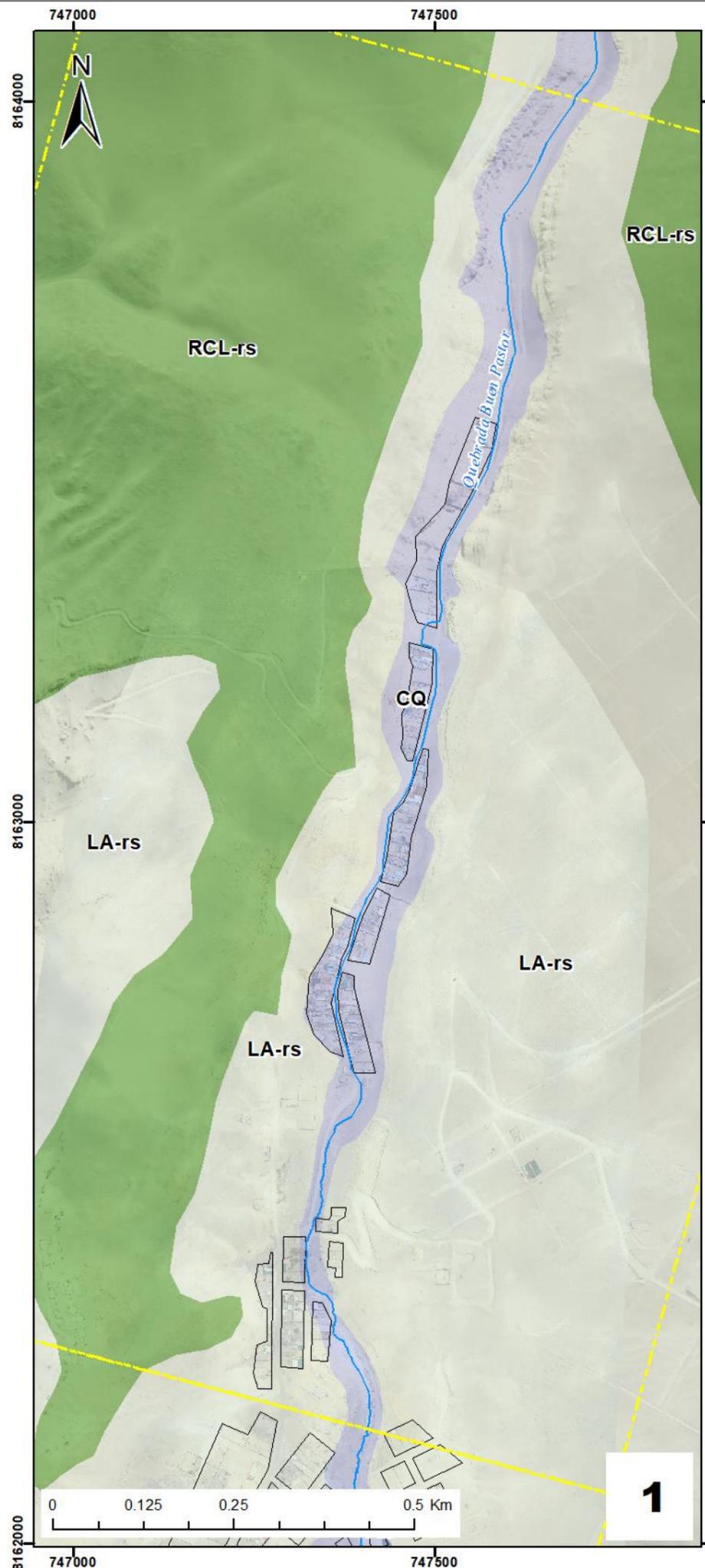
**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
  
 INSTITUTO GEOLOGICO, MINERO Y METALURGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
 Provincia Camaná  
 Distrito Samuel Pastor

**PENDIENTES DEL TERRENO DE LA QUEBRADA BUEN PASTOR**

Escala: 1/7500	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 a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebrada Buen Pastor
- Área urbana

**LEYENDA**

**Unidades Geomorfológicas**

- RCL-rs, Colina y lomada en roca sedimentaria
- L-rs, Lomada en roca sedimentaria
- Ab, Abanico de piedemonte
- LA-rs, Ladera en roca sedimentaria
- CQ, Cauce de quebrada

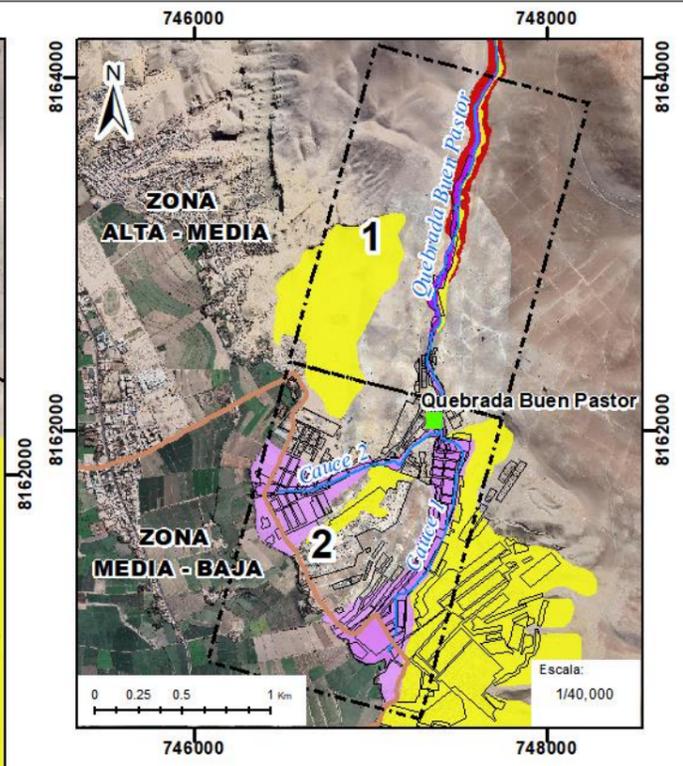
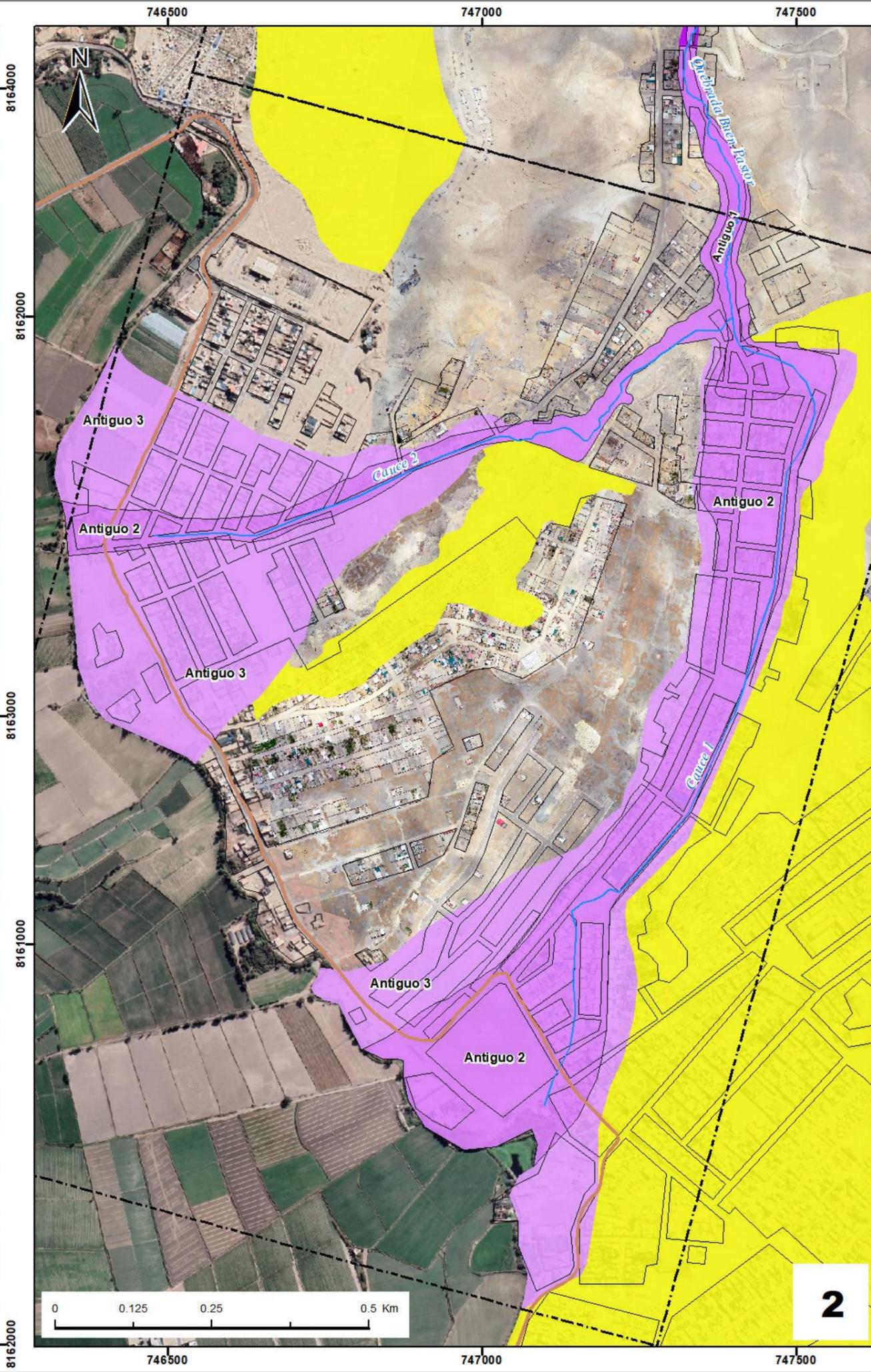
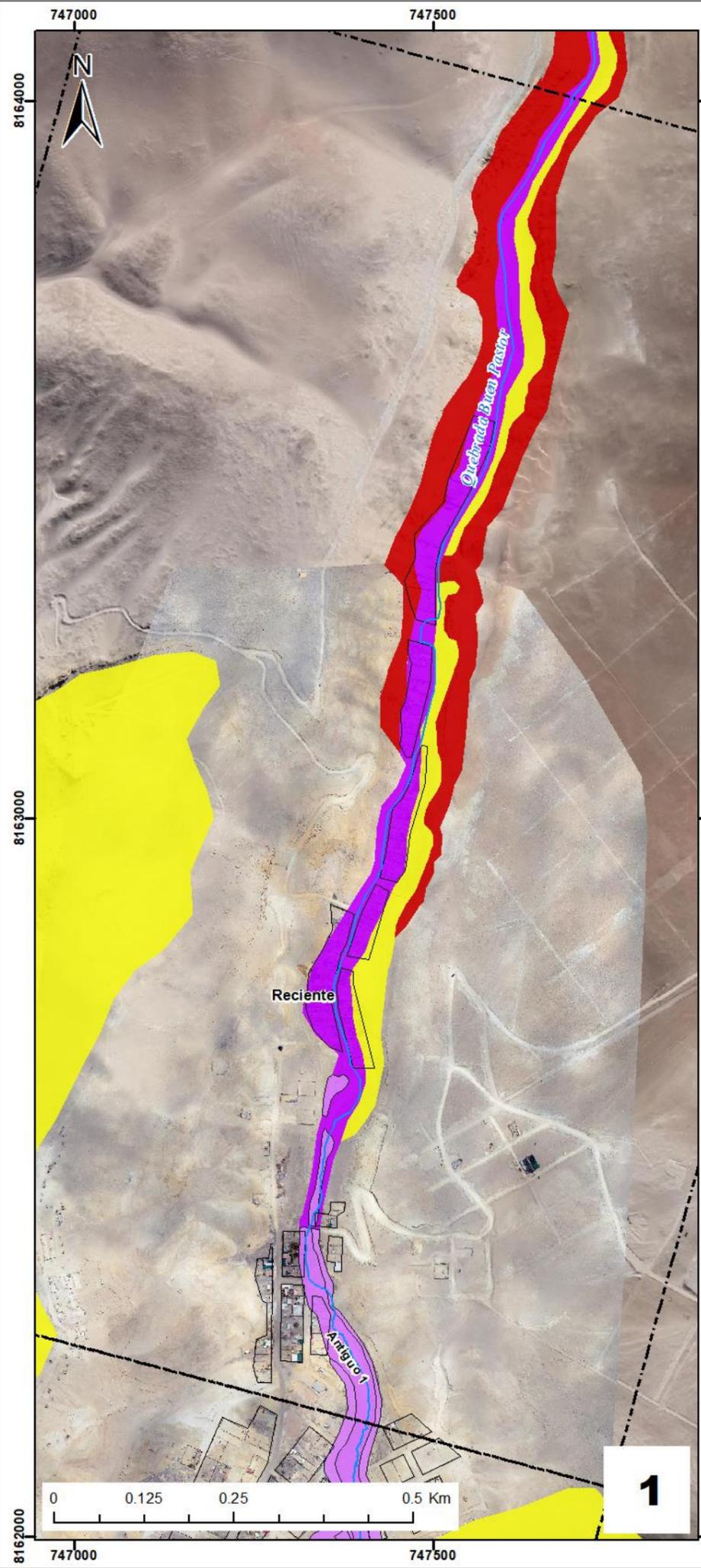
**SECTOR ENERGÍA Y MINAS**  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
 Provincia Camaná  
 Distrito Samuel Pastor

**GEOMORFOLOGÍA DE LA QUEBRADA BUEN PASTOR**

Escala: 1/7500	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>03</b>
Versión digital 2023		



**SIMBOLOGIA**

- Área de evaluación
- Sector a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebrada Buen Pastor
- Área urbana

**LEYENDA**

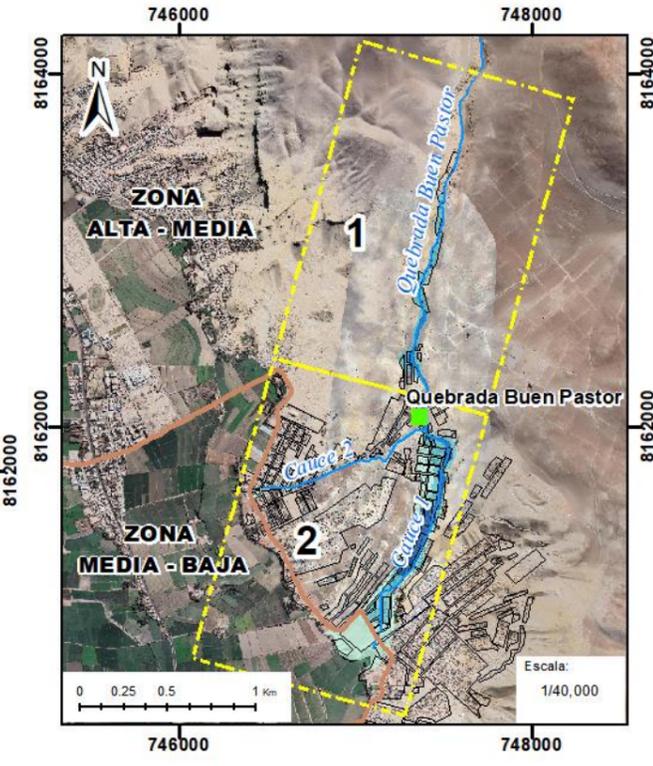
**Peligros Geológicos**

- Arenamiento
- Caída de rocas
- Flujo de detritos, Antiguo 1
- Flujo de detritos, Antiguo 2
- Flujo de detritos, Antiguo 3
- Flujo de lodo, Reciente

  
 SECTOR ENERGÍA Y MINAS  
**INGEMMET**  
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO  
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO  
 Departamento Arequipa  
 Provincia Camaná  
 Distrito Samuel Pastor

**CARTOGRAFIADO DE PELIGROS DE LA QUEBRADA BUEN PASTOR**

Escala: 1/7500	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>04</b>
Versión digital 2023		



**SIMBOLOGIA**

- Área de evaluación
- Sector a evaluar
- Red vial vecinal
- Quebrada Buen Pastor
- Área urbana

**LEYENDA**

**Escenario - Flujo de detritos simulado**

**Altura de alcance**

- Altura: 0.05 m - 0.5 m
- Altura: 0.5 m - 1.5 m
- Altura: 1.5 m - 3 m

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

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Departamento Arequipa  
 Provincia Camaná  
 Distrito Samuel Pastor

**FLUJO DE DETRITOS SIMULADO EN LA QUEBRADA BUEN PASTOR**

Escala: 1/7500	Elaborado por: Ccorimanya Bety	<b>MAPA</b>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	<b>S1</b>
Versión digital 2023		