

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7191

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR INUNDACIÓN DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ACCOMAYO, ANEXO SAN ANTONIO CENTRO POBLADO UNIÓN PROGRESO

Departamento Ayacucho
Provincia La Mar
Distrito Anco



NOVIEMBRE
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR INUNDACIÓN DE DETRITOS EN LA QUEBRADA ACCOMAYO, ANEXO SAN ANTONIO CENTRO POBLADO UNIÓN PROGRESO

(Distrito Anco, provincia La Mar, departamento Ayacucho)

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

Equipo de investigación:

Mauricio Antonio Núñez Peredo

Guisela Choquenaira Gárate

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). "Evaluación de peligros geológicos por inundación de detritos en la quebrada Accomayo, Anexo San Antonio centro poblado Unión Progreso, distrito Anco, provincia La Mar, departamento de Ayacucho". Lima: Ingemmet, Informe Técnico N°A7191, 51p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	3
1.3. Aspectos generales.....	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Accesibilidad	5
1.3.3. Clima	7
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
2.1. Unidades litoestratigráficas	8
2.1.1. Formación Sandia (OS-s)	8
2.1.2. Formación Ananea (SD-a)	9
2.1.3. Grupo Cabanillas (D-c)	9
2.1.4. Depósitos cuaternarios	10
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
3.1. Pendientes del terreno	12
3.2. Unidades geomorfológicas.....	13
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	13
3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional.....	15
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	18
4.2. Inundación de detritos en la quebrada Accomayo	18
4.2.1. Características visuales del evento.....	22
4.2.2. Factores condicionantes	29
4.2.3. Factores detonantes o desencadenantes	29
4.2.4. Daños por peligros geológicos.....	29
5. CONCLUSIONES	32
6. RECOMENDACIONES	33
7. BIBLIOGRAFÍA	34
ANEXO 1: MAPAS	35
ANEXO 2: GLOSARIO	40
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	45

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por inundación de detritos, realizado en la quebrada Accomayo, Anexo San Antonio, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Anco, provincia La Mar, departamento de Ayacucho. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno.

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada y alrededores, son principalmente de origen metamórfico, correspondiente a las Formaciones Sandia, Ananea y el Grupo Cabanillas, constituidos por pizarras deleznales y limoarcillitas pizarrosas fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas. El anexo San Antonio, se encuentra asentado sobre antiguos depósitos proluviales de eventos antiguos, cuyo material medianamente consolidado, está conformado por escasos bloques de formas angulosas, con diámetros que varían de 0.05 a 0.20 m, envueltos en una matriz arenociliosa.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional y erosional (montañas modeladas en rocas metamórficas) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, principalmente originada por procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores, configurando geoformas de piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento, coluvio – deluvial y aluvio torrencial).

El 20 de abril del 2021, la quebrada Accomayo se activó, desencadenó en inundación de detritos, ante la remoción de deslizamientos y derrumbes provenientes de la parte alta. Se le atribuye como factor detonante, las lluvias intensas registradas en la zona, con umbrales de 49.9 mm por día, coadyuvados y sumados a ellos las características de sitio como: substrato rocoso fuertemente fracturado y altamente meteorizado, presencia de suelos inconsolidados de fácil erosión y remoción, laderas con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°) y la acción de las aguas de escorrentía.

Los trabajos de campo permitieron identificar la destrucción de 15 viviendas y la afectación de otras 80; además de 0.7 km de tramo carretero (que une el distrito de Anco con el centro poblado Unión Progreso), 1 Institución Educativa, 2 estaciones de grifo, 1 poste de tendido eléctrico, 1 reservorio, tuberías de agua potable y aproximadamente 20 ha de cultivo de cacao.

Por las condiciones geológicas y climáticas mencionadas anteriormente, el área de estudio se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de flujos, derrumbes y deslizamientos, que pueden ser reactivados con lluvias intensas y excepcionales (Fenómeno El Niño).

Finalmente, se brinda algunas recomendaciones a fin de que las autoridades competentes pongan en práctica, como implementar un muro de contención en la margen derecha de la quebrada Accomayo, limpieza y remoción del material detrítico depositado en la desembocadura de la quebrada, proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) y complementar con estudios de evaluación de riesgos (EVAR).

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (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, entre otros peligros geológicos) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Provincial de Anco, según Oficio N° 432-2021-MDA-LM/A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de inundación de detritos ocurrido el día martes, 20 de abril de 2021, que de acuerdo con los trabajos de campo, se pudo identificar la destrucción de 15 viviendas y afectó otras 80; además de 0.7 km. de tramo carretero, 1 Institución Educativa, 2 estaciones de grifo, 1 poste de tendido eléctrico, 1 reservorio, tuberías de agua potable y aproximadamente 20 ha de cultivo de cacao.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Mauricio Núñez Peredo y Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación de peligros geológicos respectiva, en el sector previamente mencionado, la cual se realizó durante los días 08 y 09 de octubre del presente año en coordinación con el presidente comunal del Anexo de San Antonio, presidente de la Junta Vecinal del centro poblado Unión Progreso y funcionarios de la Municipalidad Distrital de Anco.

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

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa ocurridos el 20 de abril del 2021 en la quebrada Accomayo.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la ocurrencia de peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación (informes técnicos) y otros estudios regionales relacionados a temas de geología y geodinámica externa (boletines), de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N° 70, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Ayacucho” (Vílchez et al., 2019). Este contiene el inventario de peligros geológicos en la región Ayacucho, en el cual se registra un total de 1390 ocurrencias; siendo los flujos (31.87%), el de mayor recurrencia, y el observado en la zona de estudio.

Así mismo, en el presente boletín se muestra el mapa regional de susceptibilidad por movimientos en masa, a escala 1:300 000, donde la quebrada Accomayo del anexo de San Antonio, se localiza en una zona de susceptibilidad Muy Alta, (figura 1). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa, como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.

- B) Memoria descriptiva de la Geología del cuadrángulo de San Francisco (Valencia, et al., 2021). Estudio realizado dentro de la actualización de la Carta Geológica Nacional a escala 1:50 000, el cual contempla la descripción detallada de las unidades litoestratigráficas, que corresponde a una secuencia de cuarcitas, pizarras y limoarcillitas pizarrosas de las Formaciones Sandía, Ananea y el Grupo Cabanillas.
- C) Boletín N° 120, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Llonchegua, Río Picha y San Francisco escala 1:100 000” (Monge, et al., 1995). Describe la geología de la zona de estudio y alrededores que corresponde a rocas metamórficas de las Formaciones Sandía, Ananea y el Grupo Cabanillas.

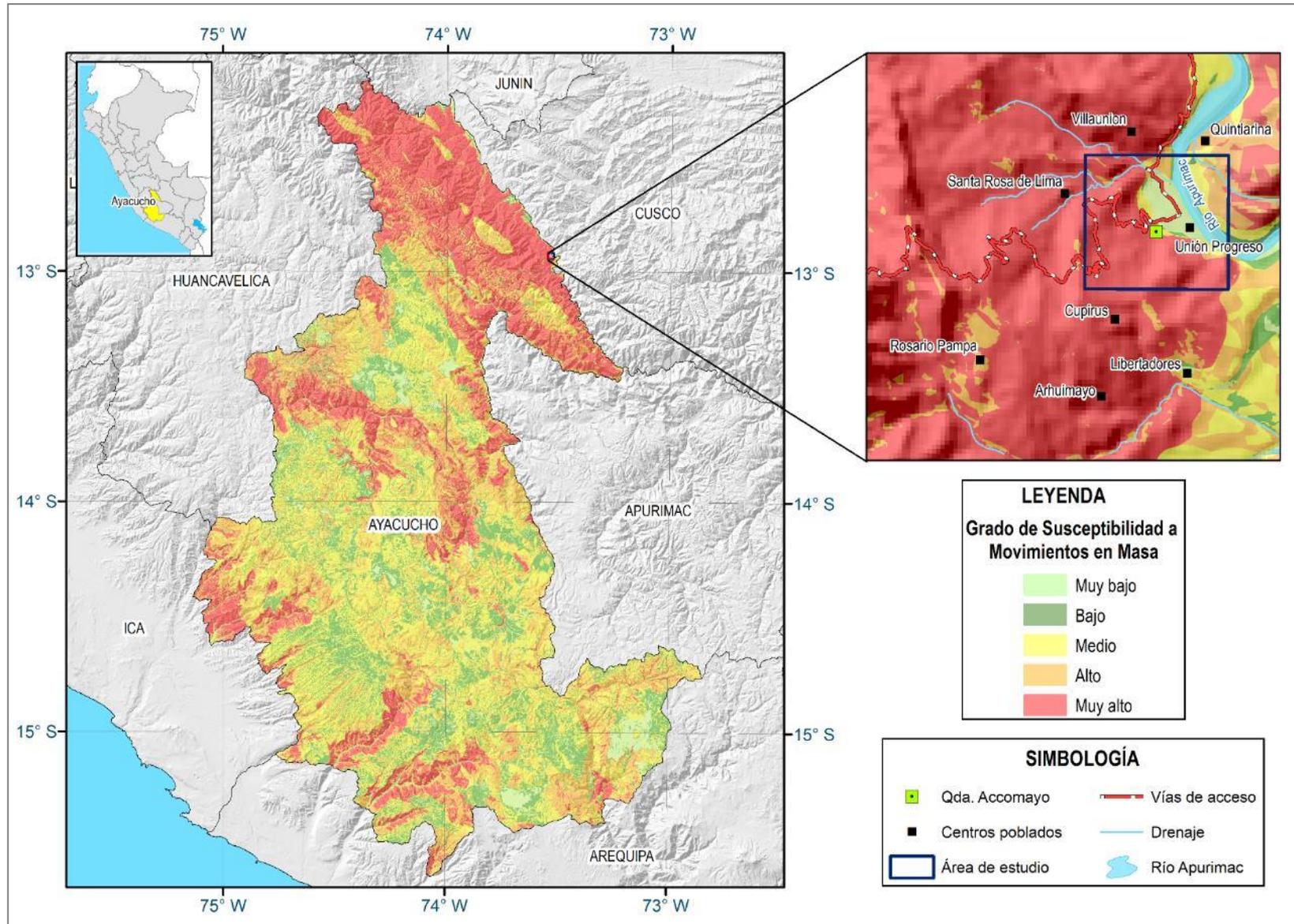


Figura 1: Susceptibilidad por movimientos en masa del Anexo San Antonio y alrededores. **Fuente:** Vílchez et al., 2019.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

La quebrada Accomayo se ubica a 0.82 km al suroeste del anexo San Antonio del centro poblado Unión Progreso, distrito de Anco, provincia La Mar, departamento de Ayacucho (figura 2), cuenta con las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S):

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 18L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	660138.90	8571214.19	-12.92°	-73.52°
2	660138.90	8568408.66	-12.94°	-73.52°
3	657105.85	8568408.66	-12.94°	-73.55°
4	657105.85	8571214.19	-12.92°	-73.55°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	658615.03	8569614.01	-12.93°	-73.53°

Según el Censo Nacional 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas, la población censada del Anexo de San Antonio es de 773 habitantes, distribuidos en un total de 285 viviendas particulares; de estas, 80 viviendas han sido afectadas por la inundación de detritos del 20 de abril del presente año.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso se realizó por vía terrestre desde la sede central de Ingemmet (Lima), hasta el anexo de San Antonio (Ayacucho), mediante la siguiente ruta, (cuadro 2):

Cuadro 2. Ruta de acceso.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Pisco	Asfaltada	223	2 horas 48 min
Pisco – Ayacucho	Asfaltada	338	6 horas 06 min
Ayacucho – Anco	Asfaltada	158	4 horas 18 min
Anco – San Antonio	Afirmada - Trocha carrozable	78.9	2 horas 38 min
San Antonio – Qda. Accomayo	Trocha carrozable	0.7	0 hora 4 min

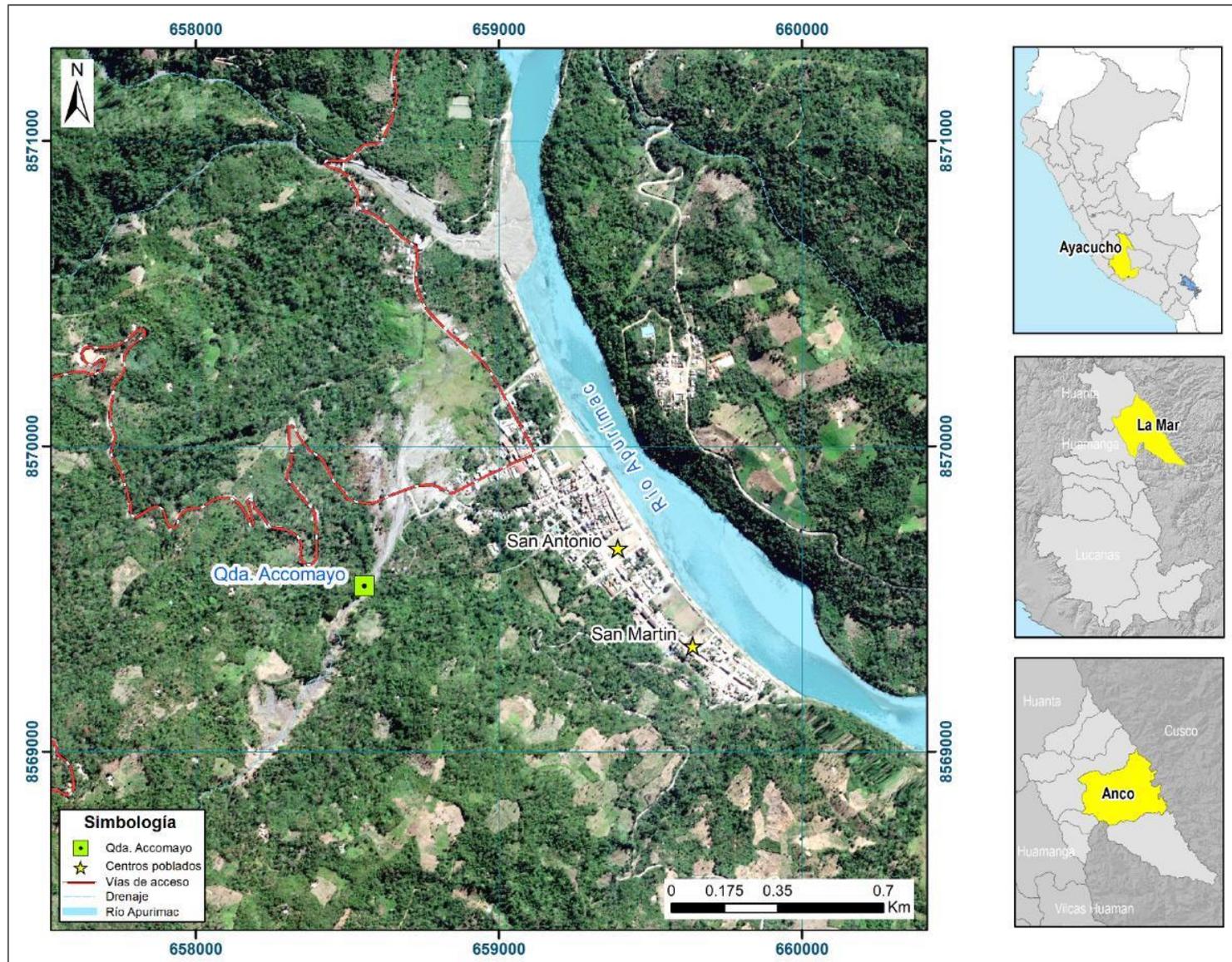


Figura 2: Ubicación de la quebrada Accomayo del anexo San Antonio, centro poblado Unión Progreso.

1.3.3. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el centro poblado Unión Progreso presenta un clima cálido y lluvioso, con precipitaciones abundantes en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como muy húmeda.

En cuanto a la cantidad de lluvia según datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (que analiza los datos de 2 millones de estaciones meteorológicas virtuales en todo el mundo, combinándolos con datos raster y de satélite), la precipitación máxima registrada en el último periodo 2019-2021, fue de 49.9 mm, (figura 3). Cabe recalcar que las lluvias son de carácter estacional, es decir, se distribuyen muy irregularmente a lo largo del año, produciéndose generalmente de noviembre a abril.

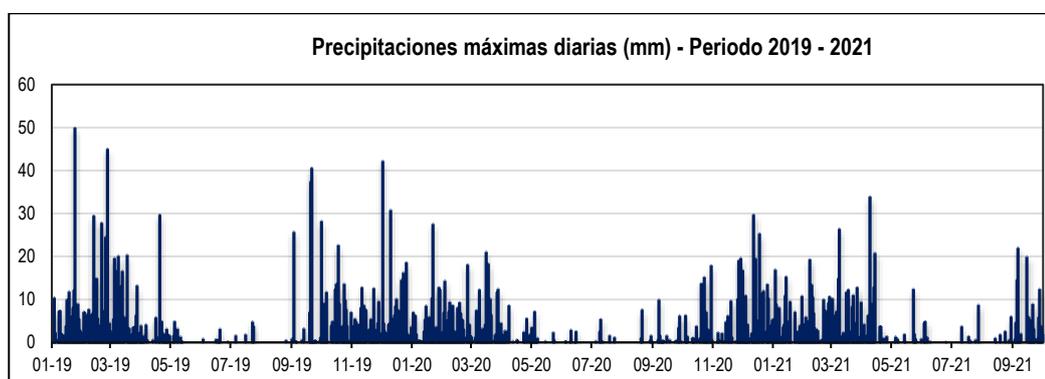


Figura 3. Precipitaciones máximas diarias en mm, distribuidas a lo largo del periodo 2019-2021. La figura permite analizar la frecuencia de las anomalías en las precipitaciones pluviales que inducen al desarrollo de la erosión del suelo. **Fuente:** Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.

La temperatura anual oscila entre un máximo de 31.1°C en verano y un mínimo de 9.8°C en invierno (figura 4), y humedad promedio de 69.8% durante casi todo el año, (Servicio aWhere).

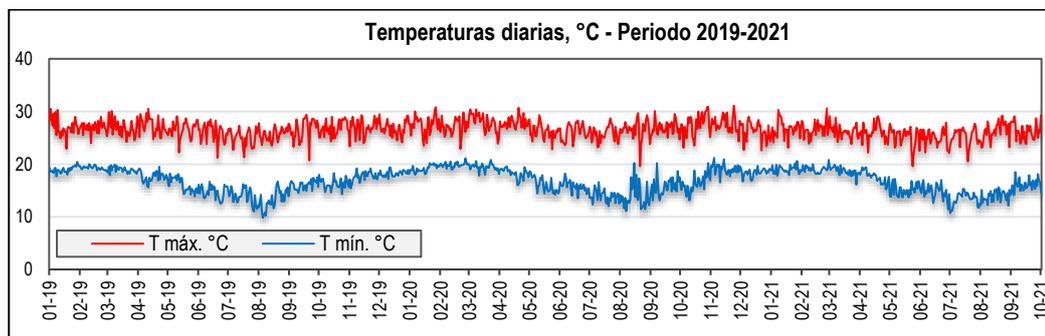


Figura 4. Temperaturas máximas y mínimas diarias, distribuidas a lo largo del periodo 2019-2021. La figura permite analizar a partir de datos históricos, la variedad, saltos extremos de temperatura, duración y regularidad. **Fuente:** Landviewer, disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología local, se desarrolló teniendo como base el mapa geológico del cuadrángulo de San Francisco, 26o2, a escala 1:50,000 (Valencia, *et al.* 2021), así como la referencia del Boletín N° 120: “Geología de los cuadrángulos de Llonchegua, Río Picha y San Francisco, escala 1:100 000” (Monge, *et al.* 1998); “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de San José de Secce, Llochegua, Huanta y San Francisco, escala 1:100 000” (Monge & Montoya, 2003) y el Boletín N° 20: “Geología del cuadrángulo de San Francisco, escala 1:50 000” (Valencia *et al.* 2021), publicados por Ingemmet.

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

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran son principalmente de origen metamórfico de las Formaciones Sandia, Ananea y Cabanillas; así como depósitos recientes coluvial, proluvial y aluvial, (anexo 1 – mapa 01).

2.1.1. Formación Sandia (OS-s)

Aflora principalmente en ambos márgenes del río Apurímac conformada por una secuencia de cuarcitas color gris claro bien compacta y pizarras color gris oscuro dispuestas en capas delgadas. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas, con espaciamentos medianamente separadas (0.20 a 0.60 m) y aberturas algo abiertas (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran moderadamente meteorizadas, es decir menos de la mitad del material rocoso está descompuesto o desintegrado (figura 5).



Figura 5. Sustrato rocoso conformado por una secuencia de cuarcitas y pizarras de la Formación Sandía. Estas rocas se presentan fuertemente fracturas y moderadamente meteorizadas.

2.1.2. Formación Ananea (SD-a)

Según Valencia *et. al*, (2021), esta unidad está conformado por una secuencia gruesa y continua de limoarcillitas y limolitas gris oscuras, intercaladas con niveles deleznable de pizarras negras. Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas, con espaciamentos próximas entre sí (0.06 – 0.20 m) y aberturas algo abiertas (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran altamente meteorizadas, es decir más de 50% está descompuesta y/o desintegrada a suelo.

2.1.3. Grupo Cabanillas (D-c)

Comprende una alternancia de areniscas a limoarcillitas pizarrosas de color crema amarillenta abigarradas (figura 6). Estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas, con espaciamentos próximas entre sí (0.06 – 0.20 m) y aberturas algo abiertas (0.1-1.0 mm). Además, se encuentran altamente meteorizadas, es decir más de 50% está descompuesta y/o desintegrada a suelo.

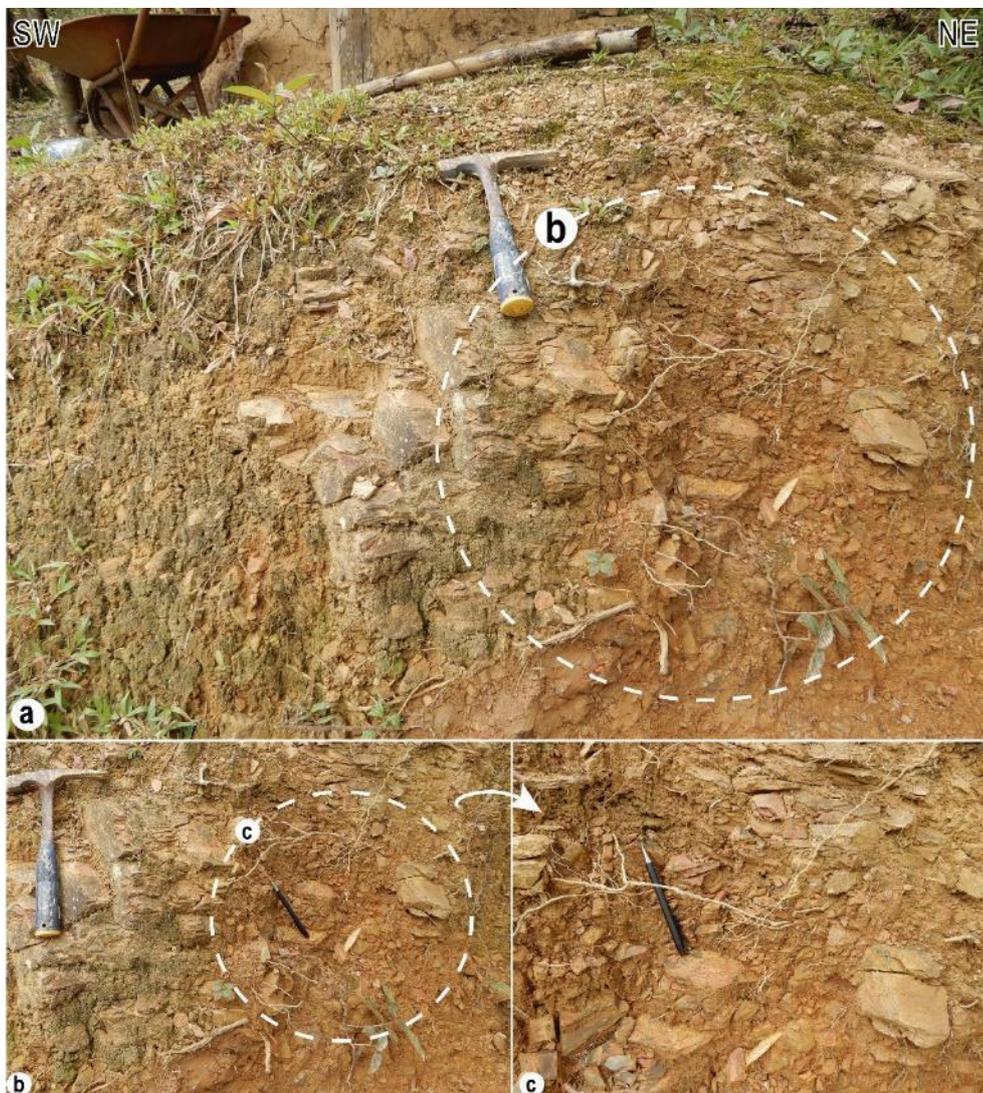


Figura 6. a) Vista con dirección SW-NE, de limoarcillitas pizarrosas crema amarillenta abigarradas del Grupo Cabanillas. b) y c) Detalle del substrato rocoso, fuertemente fracturado y altamente meteorizado.

2.1.4. Depósitos cuaternarios

a. Depósito coluvio-deluvial (Q-cl):

Se localizan en las laderas que circunscriben la quebrada Accomayo, dispuestos de forma caótica al pie de laderas por acción de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía. Están compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables envueltos en una matriz areno-limoarcillosa, (fotografía 1) y de naturaleza litológica homogénea.

Dentro de esta caracterización geológica se considera a los depósitos de deslizamientos y/o derrumbes, dispuestos en ambas márgenes de la quebrada Accomayo.



Fotografía 1. Material de depósito coluvio-deluvial compuestos por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables envueltos en una matriz areno-limoarcilloso, acumulado en ambas márgenes de la quebrada Accomayo.

b. Depósito proluvial (Q-pl):

Los depósitos proluviales se originan a partir de los depósitos de los flujos, por la existencia de material detrítico suelto acumulado y cuando ocurren precipitaciones pluviales intensas se saturan, pierden su estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas. El material está conformado por bloques de formas subangulosos a subredondeados, con diámetros que varían de 0.05 a 0.20 m, envueltos en una matriz fina, permeable limo arenoso-arcilloso (fotografía 2). El depósito se encuentra medianamente consolidado.



Fotografía 2. Depósito proluvial reciente conformado por bloques con diámetros que varían de 0.05 a 0.20 m, envueltos en matriz areno-arcillosa.

c. Depósito aluvial (Q-al):

Son depósitos no consolidados a semi-consolidados, estos últimos por acumulación de material transportado por el río Apurímac. Este depósito corresponde a una mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, así como limos y arcillas; estos materiales tienen selección de regular a buena, presentándose niveles y estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Su permeabilidad es media a alta y se asocia principalmente a terrazas altas, susceptibles a la erosión fluvial.

d. Depósito fluvial (Q-fl):

Constituyen los materiales ubicados en el cauce del río Apurímac, terrazas fluviales y llanura de inundación. Están constituidos por cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y areno-limosos; son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa, ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002), es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, como factor condicionante.

La zona media a alta de la quebrada Accomayo está circundada por laderas de pendiente que varían entre 35° y 45°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en sus laderas. La zona media a baja se conforma de valle fluvial de pendiente que varía de 2° a 10°.

En el anexo 1 – mapa 02, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS), donde se evidencia un mayor predominio de laderas, cuyos rangos de pendientes van desde fuerte (15° a 25°) a muy fuerte (25° a 45°). Este rango de pendientes es el resultado de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre, cuyas características principales se describen en el cuadro 3:

Cuadro 3. Rango de pendientes del terreno.

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano (6.2%)	Son terrenos llanos cubiertos por depósitos cuaternarios que se distribuyen principalmente a lo largo del valle, asociado a unidades como terrazas fluviales y aluviales.
1°a 5°	Inclinación suave (13.1%)	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de fondos de valles, planicies y cimas de lomadas de baja altura, también en terrazas aluviales y fluviales. En este rango se ubica principalmente el centro poblado de Unión Progreso.
5°a 15°	Moderado (31.5%)	Terrenos con moderada pendiente, se ubican principalmente al pie de las laderas de montañas, colinas y lomadas; a su vez, estas inclinaciones condicionan la erosión de laderas en las vertientes y abanicos de piedemonte.
15°a 25°	Fuerte (30.7%)	Pendientes que se distribuyen indistintamente en las laderas de las lomadas y montañas, en donde se generó los derrumbes, deslizamientos y está ocurriendo erosión de ladera.
25°a 45°	Muy Fuerte (17.8%)	Se encuentran en laderas de quebradas, lomadas y montañas, así como vertientes coluvio-deluvial. En este rango de pendiente, generalmente se registran procesos de erosión en cárcava, derrumbes y deslizamientos.
>45°	Muy escarpado (0.8%)	Ocupa áreas muy reducidas, distribuidas a lo largo de laderas y cumbres de quebradas, colinas y montañas.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio (anexo 1 – mapa 03), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación con la erosión, denudación y sedimentación, (Vílchez, M., et al, 2019).

En la zona evaluada y alrededores se han identificado las siguientes geoformas:

3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Así en el área evaluada se tienen:

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

a) *Subunidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm):*

Corresponde a las cadenas montañosas donde los procesos denudativos (fluvio-erosionales) afectaron rocas metamórficas de la Formación Ananea y el Grupo Cabanillas. Las montañas cubren gran parte de la zona de estudio, cuyas laderas de pendientes fuerte a muy fuerte, varían de 15° a 45°. En la parte alta son disectados por una red de drenaje dendrítica, resaltando principalmente la quebrada Accomayo, (fotografía 3).

Desde el punto de vista geodinámico, se producen grandes deslizamientos, derrumbes y flujos.

3.2.3.2. Unidad de lomadas

Presentan menor altura que una montaña (menor de 300 metros desde el nivel de base local), además sus cimas son más amplias, redondeadas y alargadas con pendientes menores (8% a 16%). Según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual, se identificó:

a) *Subunidad de lomadas en rocas metamórficas (RL-rm):*

Relieve modelado en rocas metamórficas reducidos por procesos denudativos y conformando elevaciones alargadas, (figura 7). Esta geoforma se identificó al noreste del anexo San Antonio y sobre la cual se asienta el sector de Quintiarina Alta.



Fotografía 3. Vista de la subunidad de montañas modeladas en rocas metamórficas (RM-rm), cuyas laderas presentan pendientes de fuerte a muy fuerte (15° - 45°) y disectada por la quebrada Accomayo.



Figura 7. Vista de las subunidades de lomadas modeladas sobre roca metamórfica (RL-rm) de relieve alargado y sobre la cual se asienta el sector de Villa Quintiarina alta y al sureste la subunidad de montañas en rocas metamórficas (RM-rm).

3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

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

3.2.2.1. Unidad de Piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos pueden ocupar grandes extensiones. Se identificó las siguientes subunidades:

a) Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd):

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial.

Se asocian geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo derrumbes, depositadas en ambos márgenes de las quebradas Accomayo y Quitimpiri. Los principales agentes formadores son los procesos de gravedad, las lluvias y el viento.

b) Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-cd)

Zonas de acumulaciones en ladera originadas por procesos de movimientos en masa antiguos y recientes. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa, (figura 8).

Estas geoformas se observaron como cuerpos de deslizamientos antiguos y sus reactivaciones depositadas en ambos márgenes de laderas de la quebrada Accomayo, donde las pendientes van de fuerte a muy fuerte (15°-45°).

c) Subunidad de vertiente aluvio-torrencial (P-at)

Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos, modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales.

La quebrada Accomayo acarrió material depositándose en la desembocadura en forma de un cono de deyección producto de la acumulación de material acarreado flujos antiguos. Sobre esta subunidad, se asienta parte de la población del Anexo de San Antonio (figura 9).



Figura 8. Vista de las subunidades de Piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) y vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd), ubicadas en ambas márgenes de la quebrada Accomayo.



Figura 9. Vista de la subunidad de vertiente aluvio-torrencial asociado a la descarga de sedimentos de la quebrada Accomayo y sobre la cual se asienta parte de la población de San Antonio.

3.2.2.2. Unidad de Planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

a) Subunidad Terraza aluvial (T-al)

Son porciones de terreno alargado a ligeramente inclinado (pendiente menor a 5°) ubicados encima del cauce del río Apurímac. Su composición litológica es resultado de la acumulación de fragmentos de roca de diferente granulometría (bolos, cantos, gravas con matriz de arenas y limos). Sobre estos terrenos se asientan parte de la población de los anexos de San Antonio y San Martín del centro poblado Unión Progreso, (figura 10).

b) Subunidad Terraza fluvial (T-fl)

Se evidencian en proximidades del anexo de San Antonio, se ubican en el curso de los ríos, litológicamente está compuesto por fragmentos rocosos heterogéneos (bloques, gravas, arenas, etc.), son transportados por la corriente actual del río Apurímac, a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conforman la llanura de inundación o el lecho del río.



Figura 10. Vista de las subunidades de terraza aluvial (con líneas separadas de color naranja), y terra fluvial (líneas separadas de color amarillo).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a los movimientos en masa de tipo inundación de detritos, derrumbes y deslizamientos, (Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007). Estos procesos son el resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en la Cordillera de los Andes por cursos de agua, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Estos movimientos en masa tienen como causas o condicionantes, factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “**desencadenante**” de estos eventos a las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona.

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa (anexo 1 – mapa 4).

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

La caracterización de los eventos geodinámicos, se realizó en base a la información obtenida durante los trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico, basado en la observación y descripción morfométrica in situ; de igual modo se tomó datos GPS, fotografías a nivel de terreno y levantamiento fotogramétrico con dron, a partir del cual se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.28 y 0.07 cm/pixel respectivamente, complementada con el análisis de imágenes satelitales.

La quebrada Accomayo, ubicada a 0.82 km al suroeste del anexo San Antonio del centro poblado Unión Progreso, presenta una geodinámica activa, representada por deslizamientos antiguos y reactivados, derrumbes, flujos y recientemente la inundación de detritos del 20 de abril del presente año.

Además, la zona es considerada de muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (Vílchez et al., 2019).

4.2. Inundación de detritos en la quebrada Accomayo

El 20 de abril del 2021, aproximadamente a las 04:30 horas, a consecuencia de las lluvias intensas registradas en el distrito de Anco, la quebrada Accomayo se activó y generó inundación de detritos, alimentado por deslizamientos y derrumbes provenientes de la parte alta, los cuales aportaron gran cantidad de material al cauce de la quebrada.

En la figura 11, se observa 3 imágenes de satélite multitemporales de la zona de estudio, en la cual se evidencia que este proceso se viene registrando desde el 2017 y en mayor magnitud desde el 2019, a la actualidad (información corroborada por versión de los pobladores).

Debido a la recurrencia de este evento, en la margen derecha de la quebrada, aproximadamente, en un tramo de 260 m, se colocaron barreras de contención de forma

artesanal (material arrimado), con el fin de proteger a la población asentada en la parte baja. Este muro está compuesto de material detrítico que acarreó la quebrada Accomayo en años pasados (figura 12); sin embargo, este no fue suficiente para impedir el ingreso de detritos que ocasionaron la destrucción y afectación de 80 viviendas (identificadas mediante las huellas y marcas que dejó en muros (figura 13), postes y árboles.)

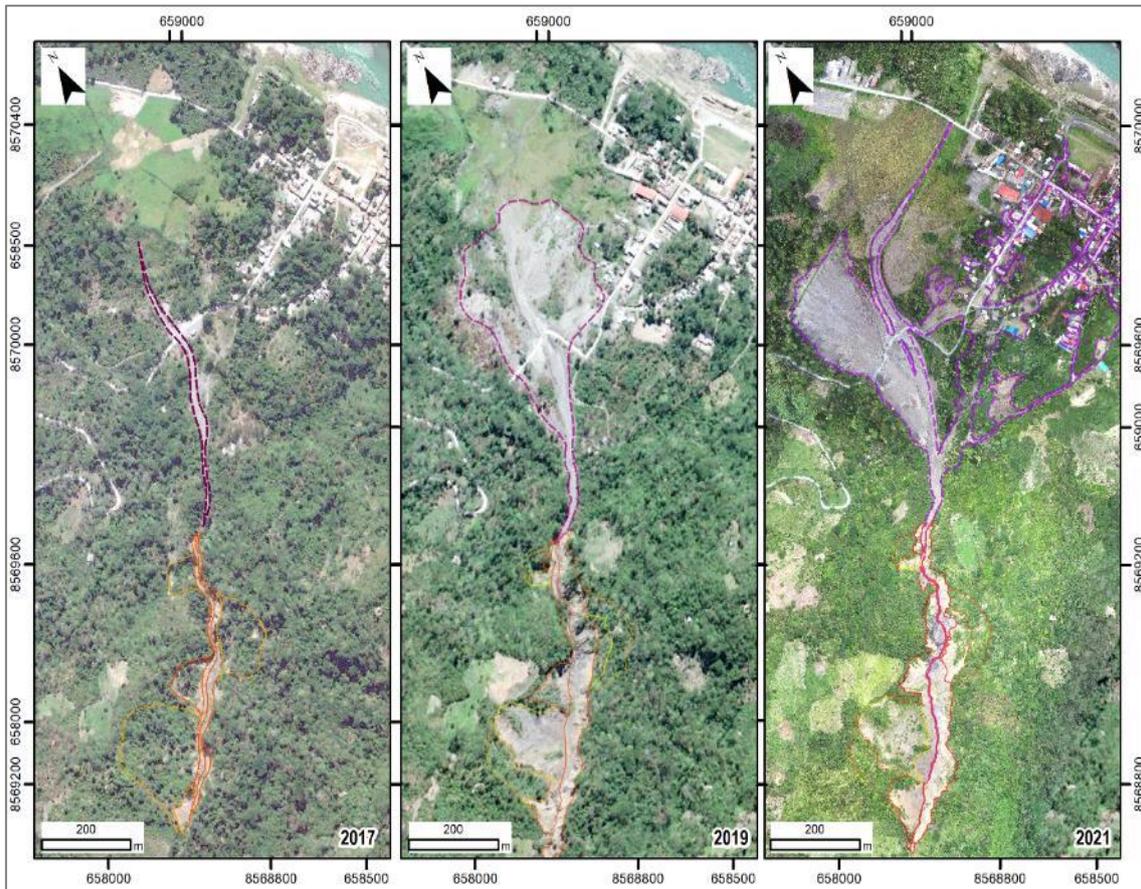


Figura 11. Vista de 3 imágenes multitemporales, izquierda (Bing Maps – Satélite, 2017), centro (ArcGIS.Imagery, 2019) y derecha (ortomosaico obtenido de sobrevuelos dron, 2021).

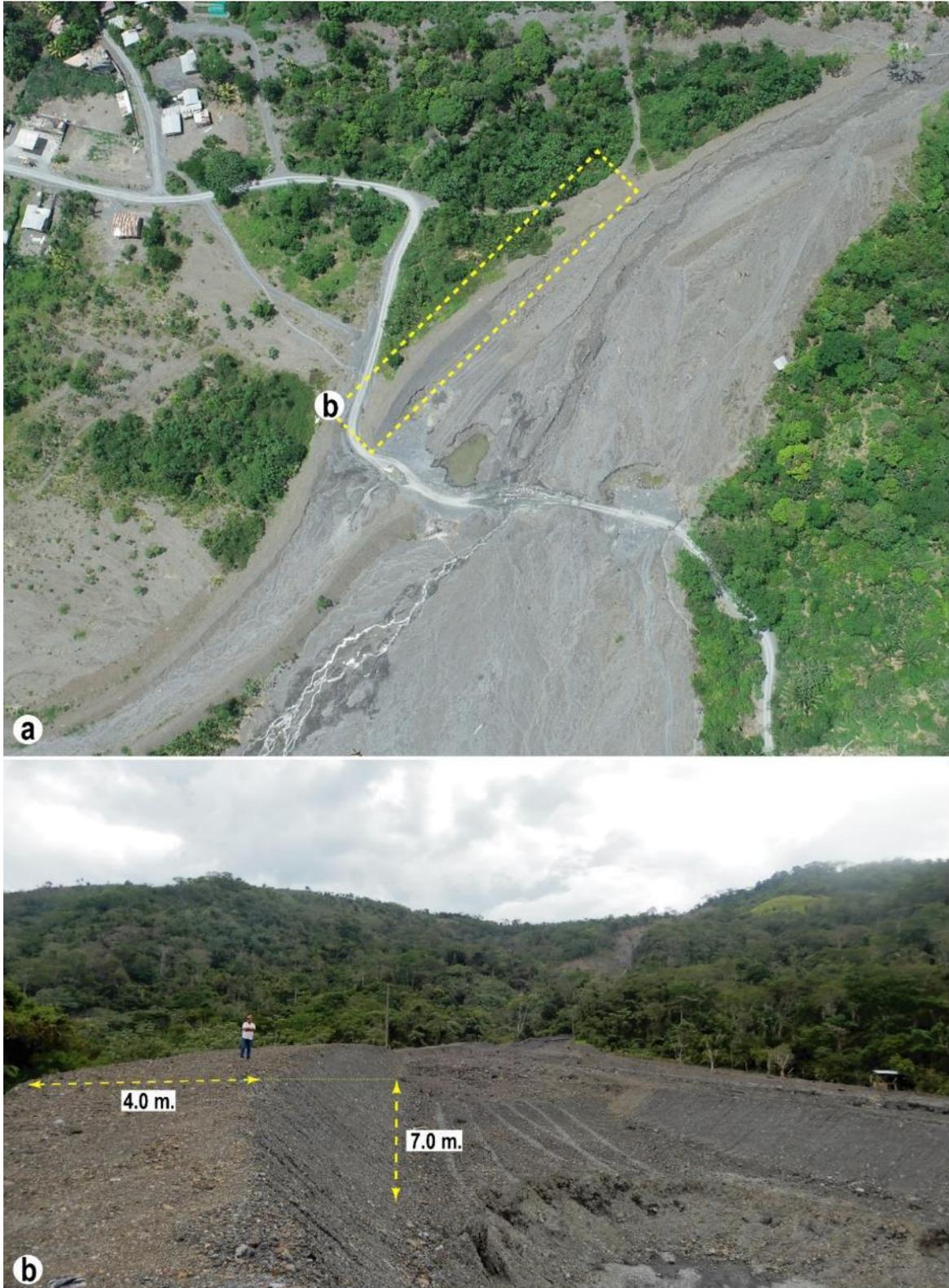


Figura 12. Barreras de contención realizado de forma artesanal, con el material detrítico proveniente de la quebrada de años anteriores, con el fin de evitar que el flujo ingrese directamente a la población.

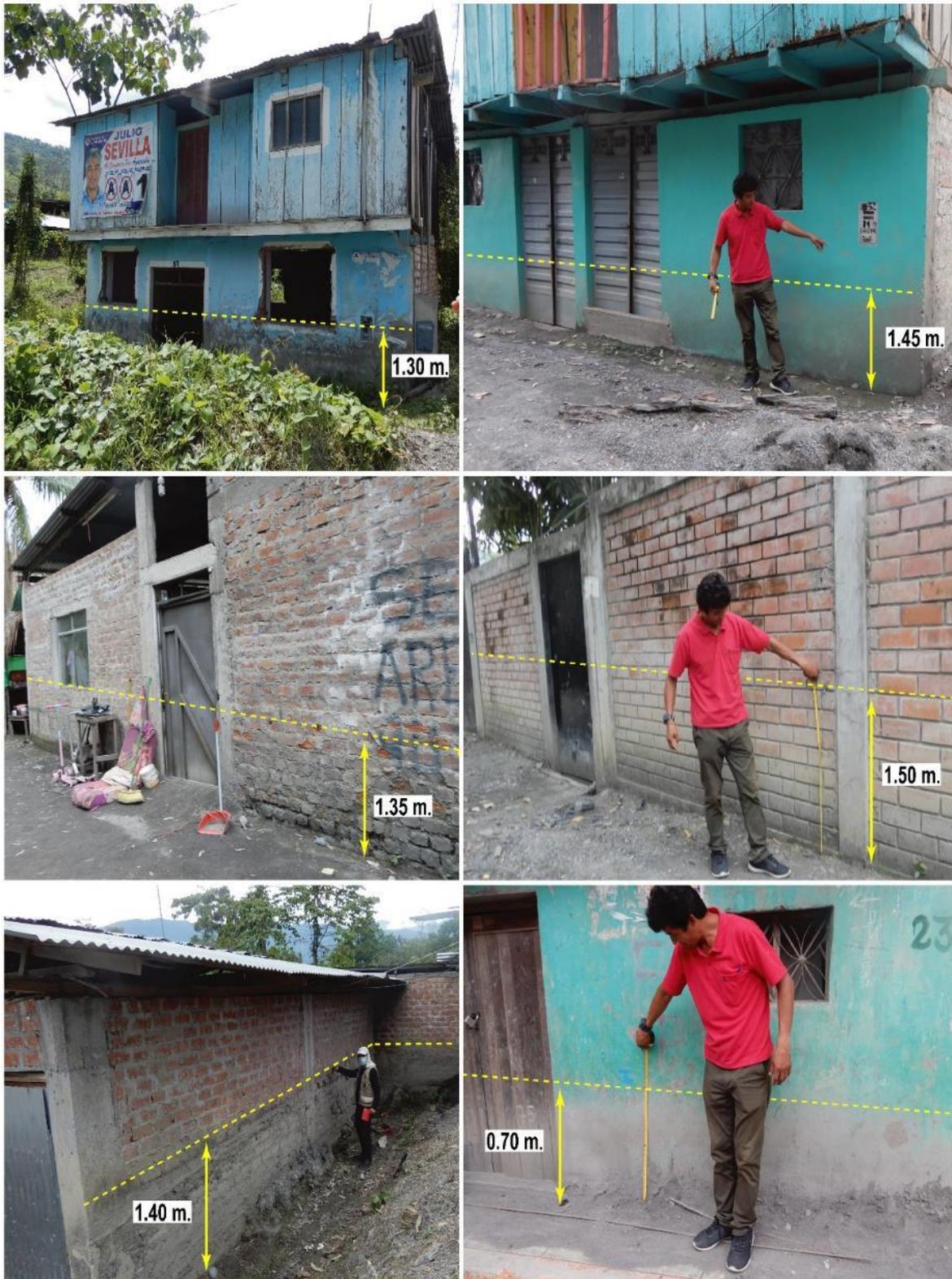


Figura 13. Registro de marcas o huellas dejadas por el huaico del 20 de abril, donde se evidencia alturas de flujo entre 0.70 m a 1.50 m.

4.2.1. Características visuales del evento

La inundación de detritos recorrió alrededor de 1.8 km desde la zona de arranque (fotografía 4) hasta la desembocadura en el río Apurímac. En su trayecto profundizó y erosionó el lecho de la quebrada afectando parte de la población del Anexo de San Antonio, en un área aproximada de 55 km² (figuras 14 y 15).

Características y dimensiones:

- Estado de la actividad: Activo.
- Depósito: Cono/abanico.
- Material: Heterogéneo
- Tamaño de clastos: Ar/Lim (45%) Gr (30%) Blo/Bol (25 %).
- Flujo de Material: Canalizado.
- Dimensiones del depósito de flujo: Área: 140 000 m³ Altura: 3.5 m Volumen: 490 000 m³ aproximadamente.

Material reciente medianamente consolidado conformado por bloques de formas subangulosos a subredondeados, de diámetros que varían de 0.05 a 0.20 m, envueltos en una matriz fina, permeable limo arenoso-arcilloso. El flujo transportó bloques de composición metamórfica (limoarcillitas pizarrosas y pizarras), con diámetros que varían de 0.5 a 2 m, arena y troncos de árboles de 0.5 a 1.3 m de longitud.

En la parte media de la quebrada, el flujo alcanzó aproximadamente 25 m de ancho; en cuyo punto se dividió en dos ramales debido a las barreras de contención presentes. En el ramal derecho (dirección este) que ingresó a la población se evidenció alturas de hasta 1.5 m; mientras que, el ramal izquierdo, con un ancho de 160 m, se desvió en dirección noroeste, hasta la desembocadura del río Apurímac, afectando terrenos de cultivo.

Los trabajos de campo realizados los días 08 y 09 de octubre, permitieron identificar en la zona alta y a lo largo de su cauce antiguos deslizamientos reactivados (D1 y D2) y derrumbes recientes, que aportan gran cantidad de material detrítico a la zona; susceptible hacer removido ante lluvias intensas y/o prolongadas, que podrían ocasionar otro flujo de igual o mayor magnitud a lo acontecido el 20 de abril del presente año.

Cuadro 4. Listado de deslizamientos identificados

Pto. control	COORDENADAS UTM			Tipo de peligro
	Norte	Este	Cota	
D1	8569157.75	658238.68	875	Deslizamiento rotacional reactivado
D2	8569239.07	658467.48	795	Deslizamiento rotacional reactivado



Fotografía 4. Zona de arranque y de reactivación de deslizamientos y derrumbes recientes provenientes de la parte alta de la quebrada Accomayo. Dicho material desplazado al cauce incrementó el volumen del flujo.



Figura 14. Vista del trayecto y recorrido del flujo con desembocadura en la parte baja - Poblado del anexo de San Antonio.

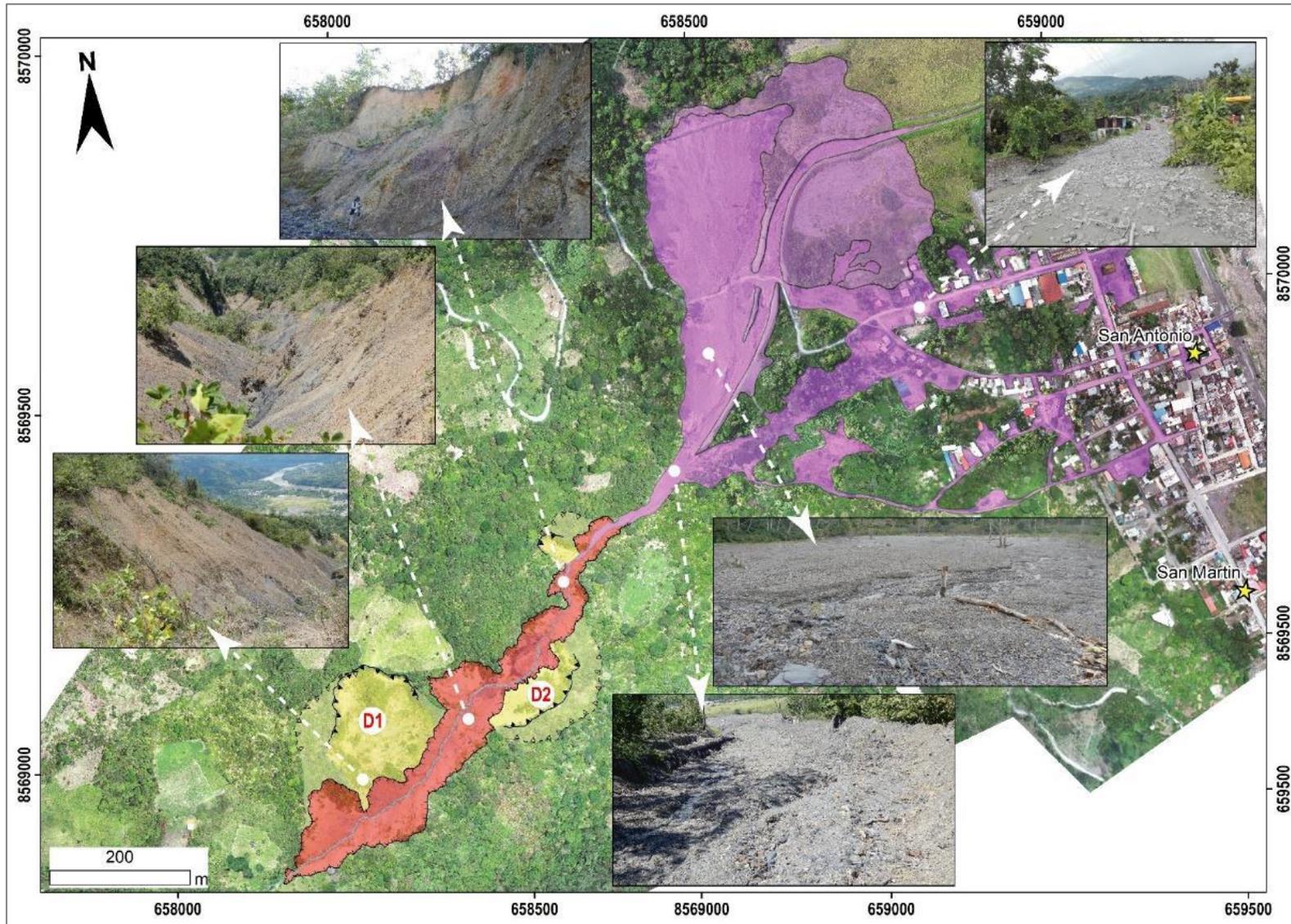


Figura 15. Vista aérea y cartografiado de procesos geológicos en la quebrada Accomayo.

En la parte alta y margen izquierda de la quebrada, se observó un deslizamiento rotacional reactivado (D1), con un escarpe de forma semicircular. Posee un ancho promedio de 76.5 m y una distancia de 177.8 m entre la escarpa y pie del deslizamiento, (figura 16). En el cuerpo del deslizamiento se observó arboles inclinados a favor de la pendiente y material suelto disponible a ceder cuesta abajo.

En la margen derecha, se evidenció un deslizamiento rotacional reactivado (D2) con escarpe único de forma irregular. Posee un ancho promedio de 128 m y una distancia de 59 m entre la escarpa y pie del deslizamiento. En la parte posterior al escape se evidenció agrietamientos longitudinales de 23 cm de separación, (figura 17).

En temporada de lluvias intensas y/o prolongadas, estos deslizamientos podrían ceder y represar el cauce de la quebrada, cuyo desembalse afectaría nuevamente a la población asentada en la parte baja.

En varios puntos de la quebrada (cuadro 5) se evidenció surgencias de agua (manantiales), evidentemente controlados por el fracturamiento de la roca y cambio litológico (cobertura de depósitos superficiales). Estas filtraciones saturan el terreno, lo cual contribuye a la reactivación de nuevos derrumbes y deslizamientos (figuras 18 y 19).

Cuadro 5. Ocurrencias de surgencias de agua registradas en campo.

N°	COORDENADAS UTM			Ocurrencias
	Norte	Este	Cota	
SA 1	8568879	658130	865	Surgencia de agua
SA 2	8569488	658513	772	Surgencia de agua
SA 3	8569349	658486	806	Surgencia de agua
SA 4	8569381	658466	795	Surgencia de agua

Finalmente, mencionar que, en el cerro suroeste, que circunda el anexo San Antonio se evidencian procesos de erosión en cárcavas (fotografía 5, cuadro 6.), que se han formado en las cunetas de la trocha carrozable desprovistas de revestimiento y mantenimiento (fotografía 6).

El substrato rocoso aflorante está conformado por material fino detrítico (limoarcillitas pizarrosas) meteorizadas del Grupo Cabanillas, fácilmente deleznales. En la actualidad se encuentran secas, pero con lluvias estacionales pueden acarrear material hacia la quebrada Accomayo.

Cuadro 6. Listado de procesos de erosión en cárcava.

Pto. control	COORDENADAS UTM			Dimensiones (aprox.)		Tipo de peligro
	Norte	Este	Cota	Ancho (m)	Profundidad (m)	
EC-1	8568858	657532	1130	20.0	15.0	Erosión en cárcava
EC-2	8568869	657549	1142	2.2	3.0	Erosión en cárcava
EC-3	8568296	657424	1275	2.5	2.0	Erosión en cárcava
EC-4	8568687	657360	1235	5.0	6.5	Erosión en cárcava
EC-5	8568859	657428	1185	3.5	1.5	Erosión en cárcava
EC-6	8568859	657619	1124	1.8	2.0	Erosión en cárcava



Figura 16. Vista del deslizamiento reactivado (D1), y zona de derrumbes activos ubicados en la margen izquierda de la quebrada Accommayo, con coordenadas UTM (WGS 84): 658238.68 E, 8569157.75 N, 875 m s.n.m.

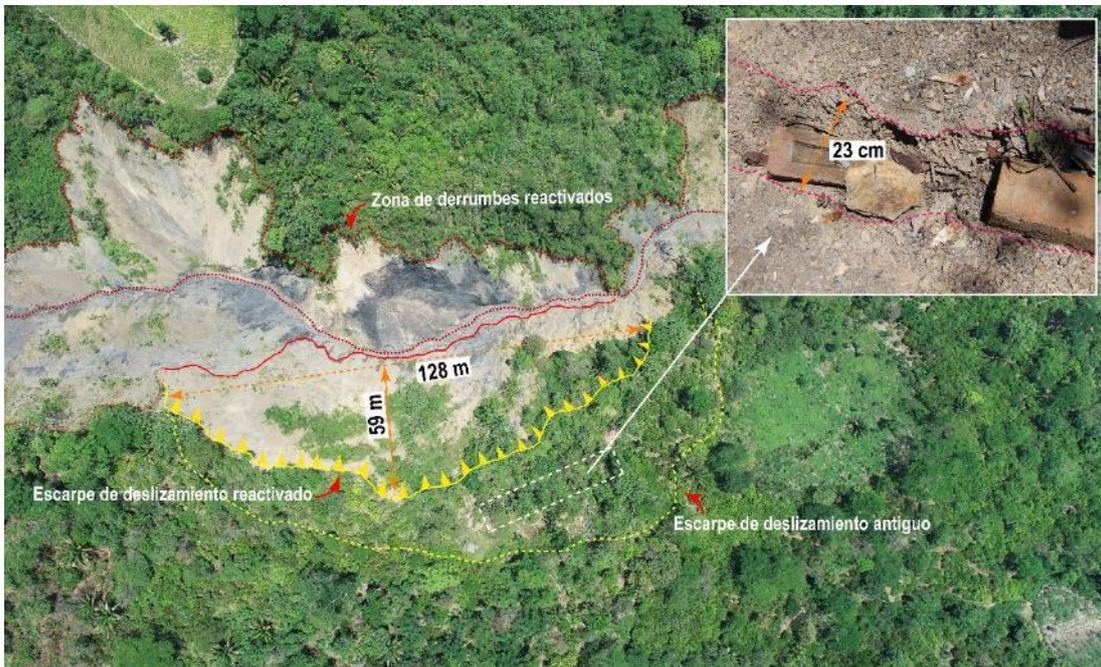


Figura 17. Vista del deslizamiento reactivado (D2), y zona de derrumbes reactivados ubicados en la margen derecha de la quebrada Accommayo, con coordenadas UTM (WGS 84): 658467.48 E, 8569239.07N, 795 m s.n.m.



Figura 18. Surgencia de agua (SA 1), el cual satura el talud y condiciona la ocurrencia de derrumbes en la zona.



Figura 19. Surgencia de agua (SA 2) en la margen izquierda de la quebrada Accomayo, condicionando la ocurrencia de nuevos derrumbes en la zona.



Fotografía 5. Erosión en cárcava (EC-1) de aproximadamente 15 m de profundidad, que conecta con la quebrada Accomayo, ubicado en las coordenadas UTM (WGS 84): 657532 E, 8568858 N, 1130 m s.n.m.



Fotografía 6. Erosión en cárcava (EC-2), originado de cunetas sin revestimiento ni mantenimiento en el cual se observa material vegetal que va a obstruir el paso del agua en temporada de lluvias.

4.2.2. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto de limoarcillitas pizarrosas y pizarras deleznales, fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas, que permiten mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Suelos inconsolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan la quebrada Accomayo, compuestos principalmente por fragmentos de roca angulosos de tamaños variables envueltos en una matriz areno-limoarcillosa, de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- Presencia de montañas modeladas en rocas metamórficas, cuyas laderas presentan pendientes fuertes (15° - 25°) a muy fuertes (25° - 45°); permiten que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de las aguas de escorrentía.

Factor hidrológico – hidrogeológico

- Acción de las aguas de escorrentía sobre las laderas y montañas que circunscriben la quebrada Accomayo.
- Presencia de agua subterránea (ojos de agua y manantiales), los cuales saturan el terreno.

4.2.3. Factores detonantes o desencadenantes

- Intensas precipitaciones pluviales, de aproximadamente 49 mm en el último periodo 2019-2021 activan y desencadenan procesos como los deslizamientos, derrumbes y la inundación de detritos que afectó la zona.

4.2.4. Daños por peligros geológicos

Los trabajos de campo permitieron identificar los siguientes daños:

- a) Destrucción de 15 viviendas y daños en otras 80. En la figura 20 se muestra altura de flujo, que llegó hasta los 3 m, afectando el medidor de luz y haciendo que las ventanas del primer piso queden deshabilitadas (actualmente se encuentran selladas con cemento).
- b) Daños en 0.7 km. de la carretera San Antonio Villa Vista - ingreso al centro poblado Unión Progreso; así como en algunas vías locales, situadas en los Jirones 1, 2, 3, 6, Avenida 1 y la Calle Progreso.
- c) Daños en infraestructura educativa N° 38834 San Antonio, que alberga a 104 alumnos distribuidos en 7 aulas. Nótese en la figura 21 el flujo de lodo alcanzó 0.80 m de altura cubriendo el campo deportivo de la escuela; y huellas de 0.42 m de altura en las paredes de las aulas.
- d) Daño en 2 estaciones de grifo, ubicadas en los Jirones 1 y 3, respectivamente; de las cuales sólo una sigue operando, (figura 22).
- e) Un poste y cables de tendido eléctrico dañados; sin embargo, actualmente fueron reparados y siguen funcionando.
- f) Un reservorio y tuberías de agua potable afectadas, rehabilitadas a la actualidad (figura 23).

g) Veinte hectáreas de cultivo de cacao aproximadamente afectados.



Figura 20. a) Altura de flujo en pared de vivienda de hasta 3m b) y c) Ventas, medidor de luz y el primer piso de la vivienda deshabitados.



Figura 21. Vista de la escuela N° 38834 San Antonio, donde se muestra las alturas de flujo de 0.80 m y 0.42 m, del campo deportivo y de la pared de un aula respectivamente.



Figura 22. a) y b). Dos estaciones de grifo afectados, ubicadas en los Jirones 1 y 3, respectivamente, del anexo de San Antonio.



Figura 23. a) 01 Poste y de tendido eléctrico dañado (hoy funcionando), b), c) Reservorio y tuberías de agua afectados por la inundación de detritos del 20 de abril.

5. CONCLUSIONES

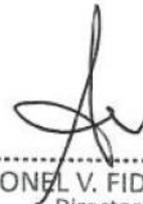
- 1) Se ha observado que el anexo San Antonio, del centro poblado Unión Progreso, se encuentra asentado sobre antiguos depósitos proluviales medianamente consolidado, conformado por bloques de formas angulosas, con diámetros que varían de 0.05 a 0.20 m, envueltos en matriz areno-arcillosa.
- 2) La inundación de detritos en la quebrada Accomayo, originada el 20 de abril del 2021, se activó producto de la reactivación de deslizamientos y derrumbes en la parte alta, los cuales aportaron gran cantidad de material al cauce de la quebrada.
- 3) El evento recorrió alrededor de 1.8 km, en cuyo trayecto profundizó, erosionó y destruyó 15 viviendas; además, afectó otras 80 viviendas, 0.7 km de tramo carretero, 1 Institución Educativa, 2 estaciones de grifo, 1 poste de tendido eléctrico, 1 reservorio, tuberías de agua potable y aproximadamente 20 ha de cultivo de cacao.
- 4) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y dinámicas, el Anexo San Antonio, se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto** a la ocurrencia de inundación de detritos, derrumbes y deslizamientos, los cuales pueden ser desencadenados en temporadas de lluvias intensas, excepcionales y/o prolongadas (Fenómeno El Niño).
- 5) La ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa en la zona evaluada está condicionada por los siguientes factores:
 - Substrato rocoso compuesto de limoarcillitas pizarrosas y pizarras deleznales, fuertemente fracturadas y altamente meteorizadas.
 - Presencia de suelos no consolidados (depósitos coluvio - deluviales), adosados a las laderas que delimitan la quebrada Accomayo
 - Laderas que circunscriben la quebrada Accomayo, con pendientes fuertes (15°-25°) a muy fuertes (25°-45°)
 - Acción de las aguas de escorrentía y presencia de agua subterránea (ojos de agua y manantiales) que saturan el terreno.
- 6) El factor desencadenante para la ocurrencia de inundación de detritos en la quebrada Accomayo, se atribuye a las lluvias intensas registradas en el último periodo, 2019 - 2021, con umbrales de 49.9 mm por día.

6. RECOMENDACIONES

- 1) Implementar un muro de contención en la margen derecha de la quebrada Accomayo (ubicado desde las coordenadas referenciales UTM (WGS 84): 658581 E, 8569533 N, 760 m s.n.), (ver anexo 3: Trabajos para disminuir los impactos de flujos) teniendo en cuenta las máximas avenidas. Esta medida deberá ser supervisado por un especialista en el tema.
- 2) Realizar la limpieza y remoción del material detrítico depositado en la desembocadura de la quebrada Accomayo; así como encauzar el cauce de la quebrada, para que los flujos provenientes de la quebrada fluyan libremente y no causen daños. Para ello se tienen que realizar cálculos con lluvias extremas.
- 3) Proponer la implementación de un Sistema de Alerta Temprana (SAT) para flujos, con los respectivos sensores y sistemas de comunicación – alarma, que avise con antelación a la población que vive en la desembocadura de la quebrada Accomayo de la ocurrencia de nuevos eventos.
- 4) Restringir la construcción de viviendas en el cauce actual y antiguo de la quebrada, por ser una zona de alta susceptibilidad a movimientos en masa, por flujos, entre otros peligros.
- 5) Realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR) por parte de las autoridades locales, a fin de evaluar los elementos expuestos a la creación de nuevos peligros geológicos.
- 6) Realizar un tratamiento integral de las seis zonas de cárcavamiento identificadas, con el fin de evitar mayor erosión de estas.
- 7) Prohibir la tala de árboles en las laderas de los cerros que circunscriben la quebrada Accomayo y del anexo San Antonio.
- 8) Realizar charlas de sensibilización y concientización del peligro y riesgo al que se encuentran expuestos los poblados del Anexo San Antonio.



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



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

7. BIBLIOGRAFÍA

Fuente de Datos Meteorológicos y Pronostico del tiempo del Servicio de Awhere. (2021). Disponible en: <https://crop-monitoring.eos.com/weather-history/field/7508240>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2017) – Directorio Nacional de Centros Poblados. Censos Nacionales 2017: XII de Población; VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. (Consulta: Junio 2021). Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm.

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

Monge, R., Valencia, M., & Sanchez, J. (1998) – Geología de los cuadrangulos de Llonchegua, Río Picha y San Francisco (hojas 25-o, 25-p y 26-o). INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional (Escala 1:100 000), 120, 254p.

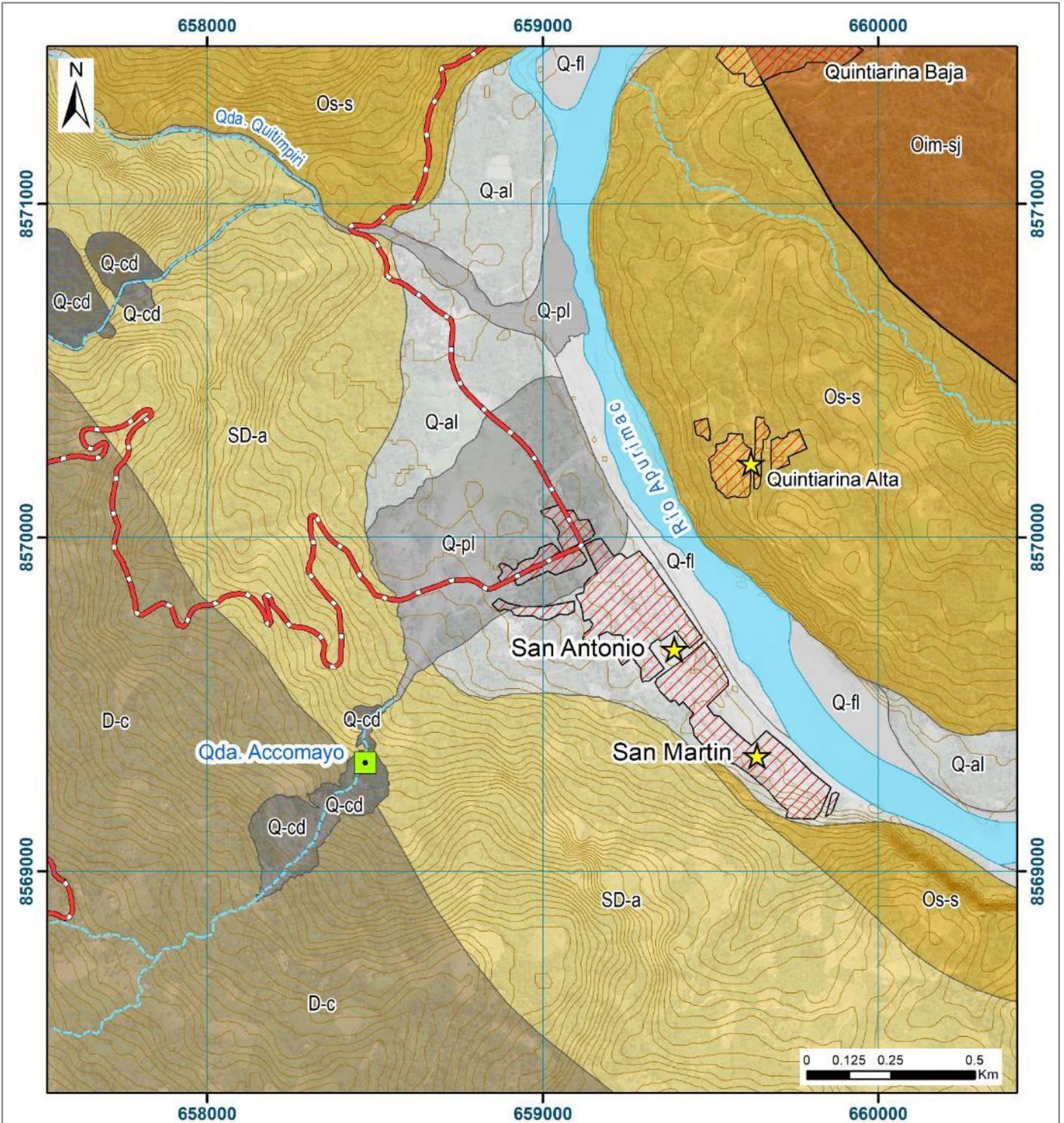
Monge, R. & Montoya, C. (2003) – Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrangulos de San José de Secce (25-ñ), Llonchegua (25-o), Huanta (26-ñ) y San Francisco (26-o). INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional (Escala 1:100 000), 23p.

Valencia, M., Chero, D. & Chávez, C. (2021) - Geología del cuadrángulo de San Francisco (hojas 26o1, 26o2, 26o3, 26o4). INGEMMET, Boletín, Serie L: Actualización Carta Geológica Nacional (Escala 1:50 000), 20, 97p, 4 mapas.

Vilchez, M., Ochoa, M. & Pari, W. (2019) - Peligro geológico en la región Ayacucho. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 70, 258p., 9 mapas.

Villota, H. (2005) - Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. 2. ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

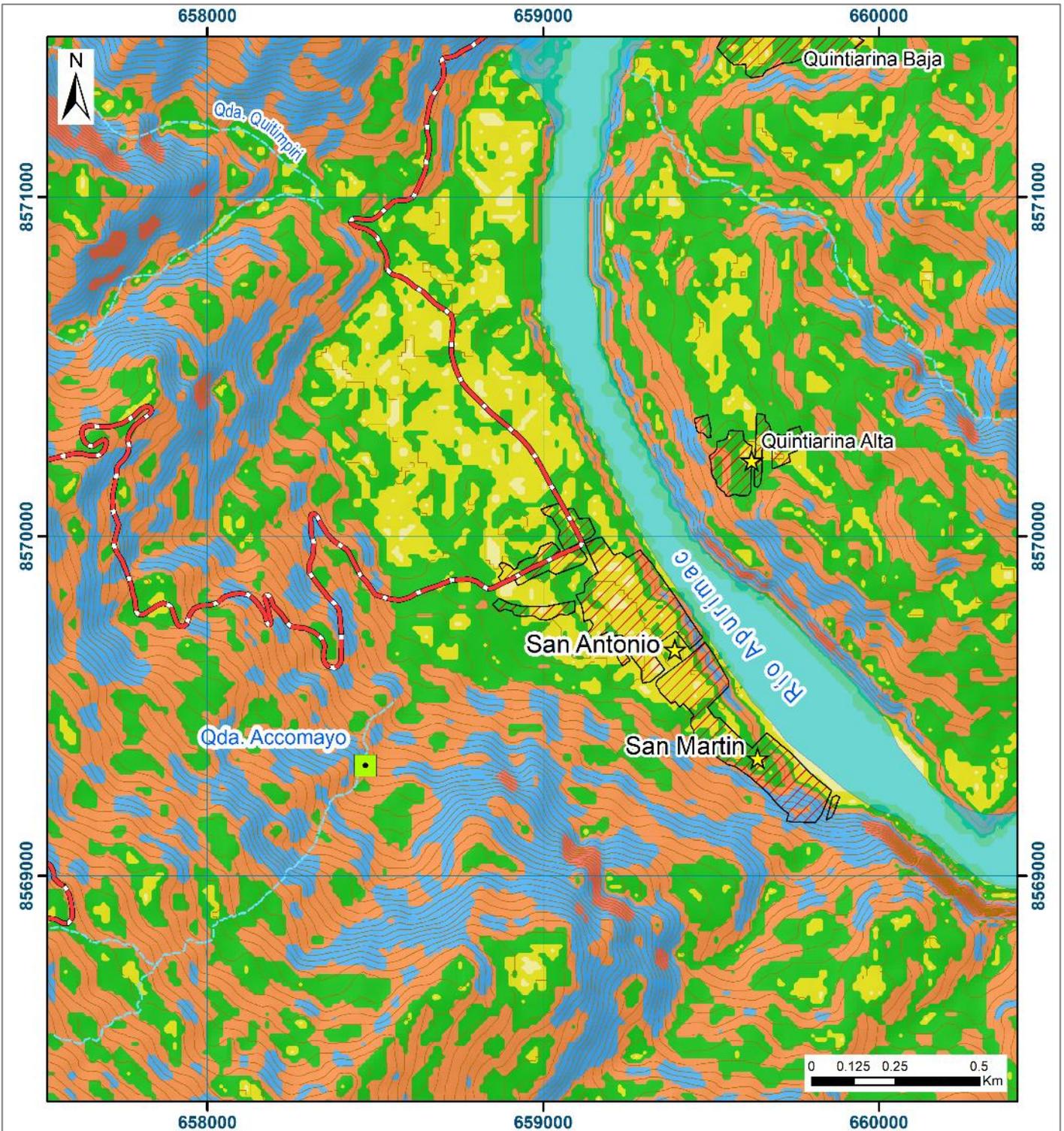
ANEXO 1: MAPAS



LEYENDA	
Q-fl	Depósito fluvial
Q-pl	Depósito proluvial
Qh-al	Depósito aluvial
Q-cd	Depósito coluvio-deluvial
D-c	Grupo Cabanillas
SD-a	Formación Ananea
OS-s	Formación Sandía
Oim-sj	Grupo San José

SIMBOLOGÍA	
■	Qda. Accomayo
★	Centros poblados
—	Falla inferida
—	Vías de acceso
—	Drenaje
—	Curvas de nivel
▨	Área urbana
—	Río Apurimac

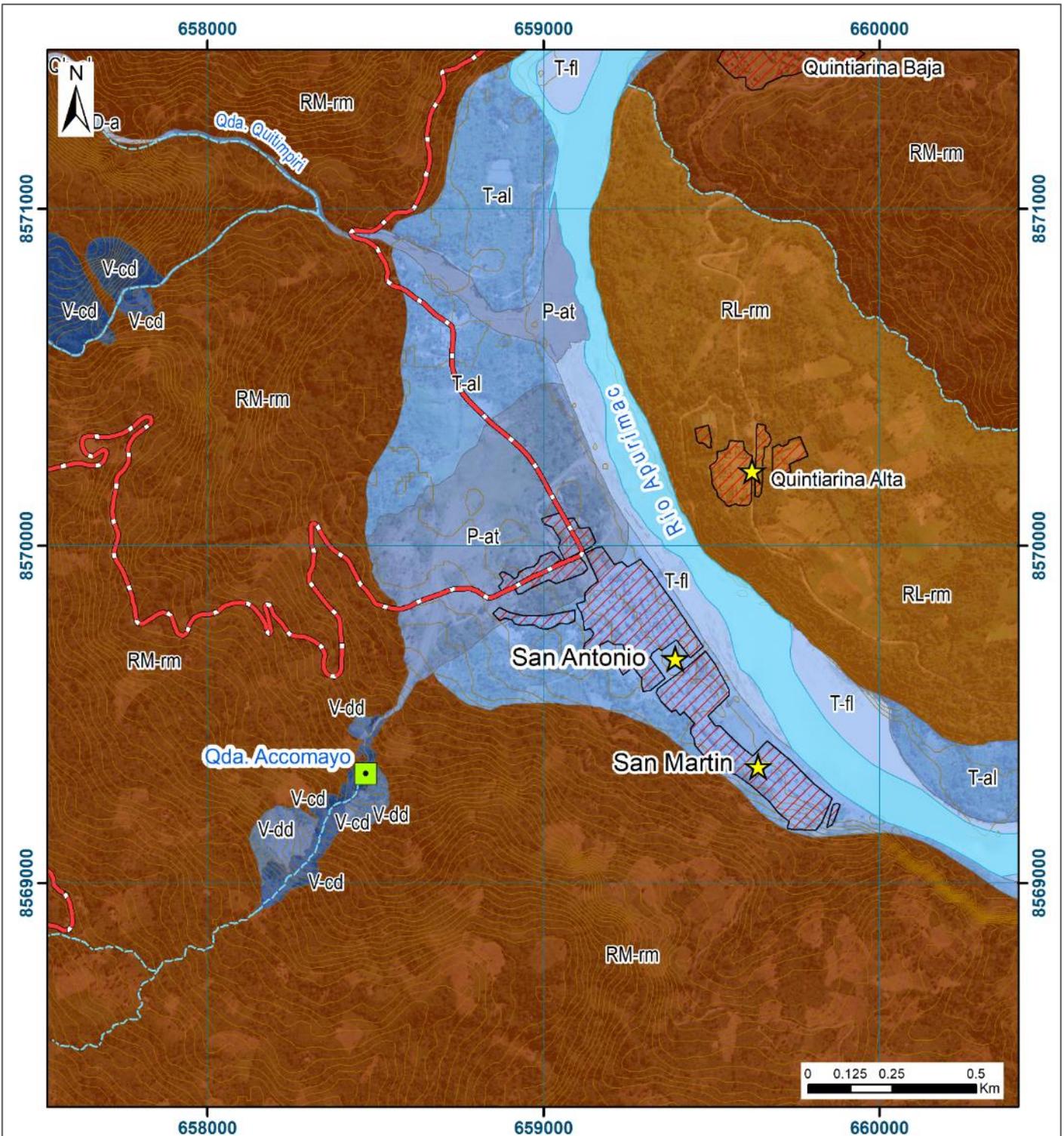
<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p> <p>DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p> <p>DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: LA MAR DISTRITO: ANCO</p>		
MAPA GEOLÓGICO		
Escala: 1/15000 Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2021	Elaborado por: Nuñez M. Datum: WGS 84 Impreso: Octubre 2021	MAPA 01



RANGO DE PENDIENTES	
0°-1°	Terreno llano
1°-5°	Terreno inclinado con pendiente suave
5°-15°	Pendiente moderada
15°-25°	Pendiente fuerte
25°-45°	Pendiente muy fuerte o escarpada
>45°	Terreno muy escarpado

SIMBOLOGÍA	
	Qda. Accomayo
	Centros poblados
	Vías de acceso
	Drenaje
	Curvas de nivel
	Área urbana
	Río Apurimac

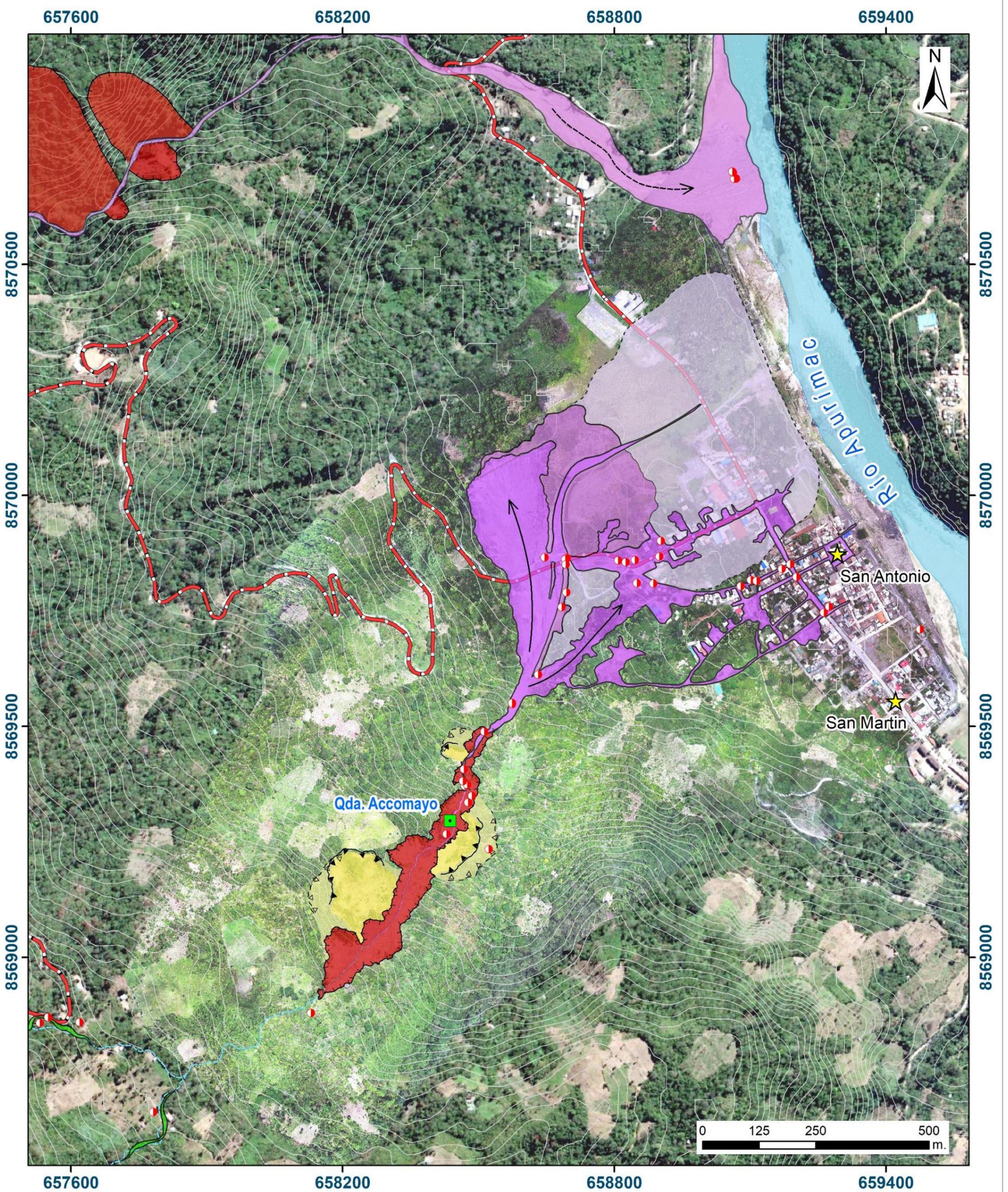
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO	
DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO	
DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: LA MAR DISTRITO: ANCO	
MAPA DE PENDIENTES	
Escala: 1/15000	Elaborado por: Nuñez M.
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84
Versión digital 2021	Impreso: Octubre 2021
MAPA 02	



LEYENDA	
RM-rm	Montaña en roca metamórfica
RL-rm	Lomada en roca metamórfica
V-cd	Vertiente coluvideluvial
V-dd	Vertiente con depósito de deslizamiento
P-at	Piedemonte aluvio-torrencial
T-al	Terraza aluvial
T-fl	Terraza fluvial

SIMBOLOGÍA	
	Qda. Accomayo
	Centros poblados
	Falla inferida
	Vías de acceso
	Drenaje
	Curvas de nivel
	Área urbana
	Río Apurimac

 DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO DEPARTAMENTO: AYACUCHO PROVINCIA: LA MAR DISTRITO: ANCO		
MAPA GEOMORFOLÓGICO		
Escala: 1/15000 Proyección: UTM Zona 18 Sur Versión digital 2021	Elaborado por: Nuñez M. Datum: WGS 84 Impreso: Octubre 2021	MAPA 03



Leyenda	
■	Derrumbe
■	Deslizamiento rotacional antiguo
■	Deslizamiento rotacional reactivado
■	Flujo antiguo
■	Inundación de detritos
■	Inundación de detritos 2020
■	Inundación de detritos 2021
■	Erosión en cárcava

Trama	
--- --- --- ---	Escarpa de derrumbe
△-△-△-△	Escarpa de deslizamiento antiguo
▲-▲-▲-▲	Escarpa de deslizamiento antiguo
-----	Flujo antiguo

Simbología	
■	Qda. Accomayo
★	Centros poblados
●	Puntos de control
→	Vías de acceso
—	Drenaje
—	Curvas de nivel
—	Rio Apurimac

<p>SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO</p>		
<p>DIRECCIÓN DE GEOLÓGIA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO</p> <p>DEPARTAMENTO AYACUCHO PROVINCIA LA MAR DISTRITO ANCO</p>		
<p>MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS</p>		
Escala: 1/7500	Elaborado por: Nuñez M.	<p>MAPA 04</p>
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2021	Impreso: Octubre 2021	

ANEXO 2: GLOSARIO

Peligros geológicos: Son fenómenos que podrían ocasionar pérdida de vida o daños materiales, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental.

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

Susceptibilidad: La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

Flujo (Flow): 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 (figura 1). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según Hungr & Evans (2004) los flujos se pueden clasificar de acuerdo al tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado, figura 5) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), de lodo, inundación de detritos, etc.

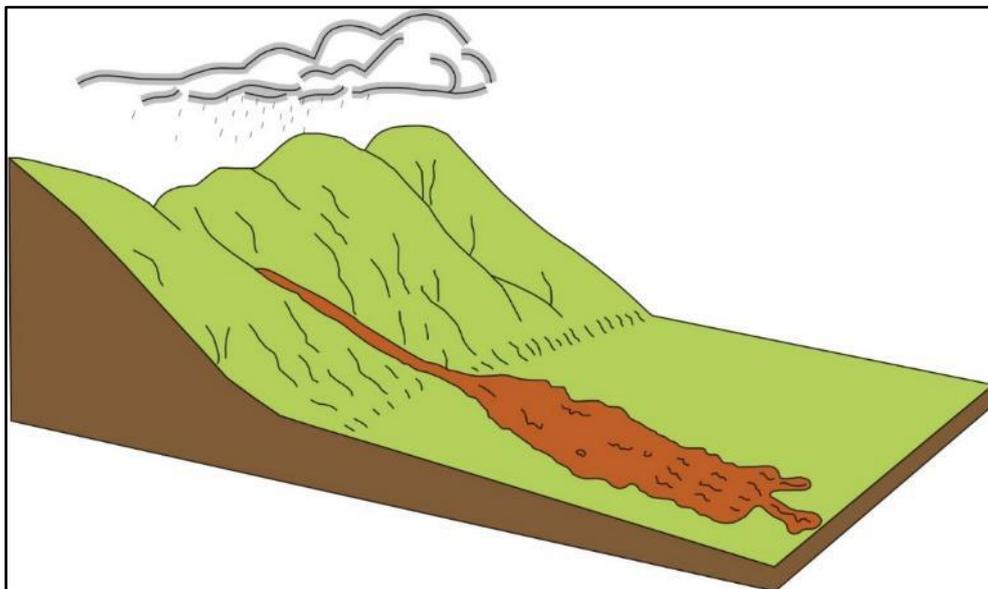


Figura 1. Esquema de flujo

Inundación de detritos:

Flujo muy rápido de una crecida de agua que transporta una gran carga de detritos a lo largo de un canal, usualmente también llamados flujos hiperconcentrados (Hungr et al., 2001). Las crecidas de detritos se caracterizan por caudales pico 2 ó 3 veces mayores que el de una crecida de agua o inundación.



Fotografía 1. Inundación de detritos del 20 de abril del 2021, ocurrido en el Anexo San Antonio del centro poblado Unión Progreso, distrito Anco, provincia La Mar, departamento Ayacucho.
Fuente: Registro fotografico de la municipalidad distrital de Anco

Derrumbe: Son fenómenos asociados a la inestabilidad de las laderas de los cerros, consisten en el desprendimiento y caída repentina de una masa de suelo o rocas o ambos, que pueden rodar o caer directamente en forma vertical con ayuda de la gravedad. Son producidos o reactivados por sismos, erosión (socavamiento de la base en riberas fluviales o acantilados rocosos), efecto de la lluvia (saturación de suelos incoherentes) y la actividad humana (acción antrópica: cortes de carreteras o áreas agrícolas). (figura 3)

Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas (Vílchez, 2019).

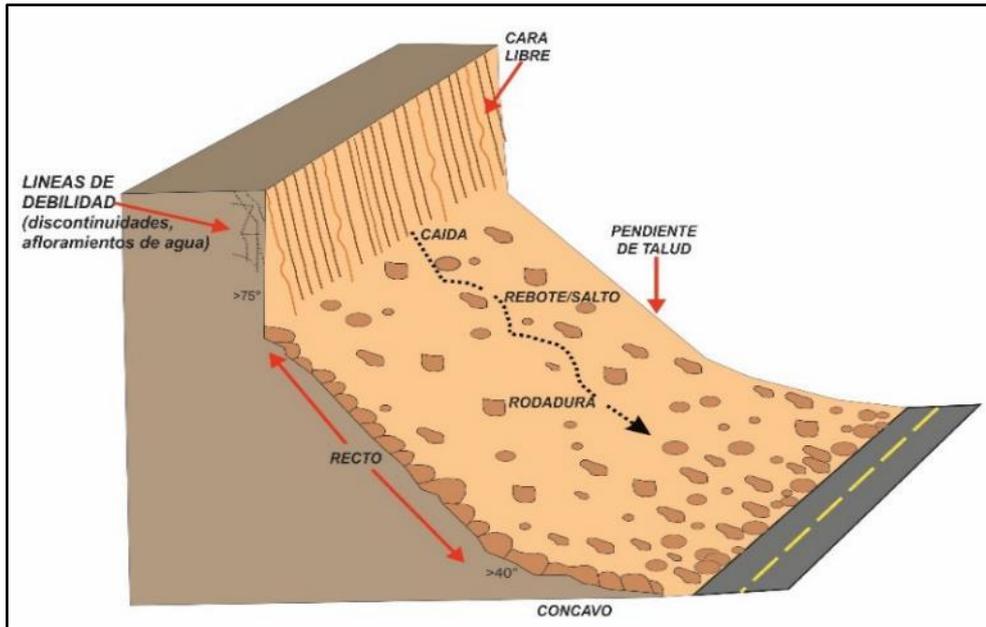


Figura 3. Esquema de Derrumbe (Vílchez 2015)

Deslizamiento (Slide): Es un movimiento, ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales, a su vez, pueden ser planares y/o en cuña. (figura 4)

Deslizamiento rotacional: En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante, y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es, con frecuencia, baja excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

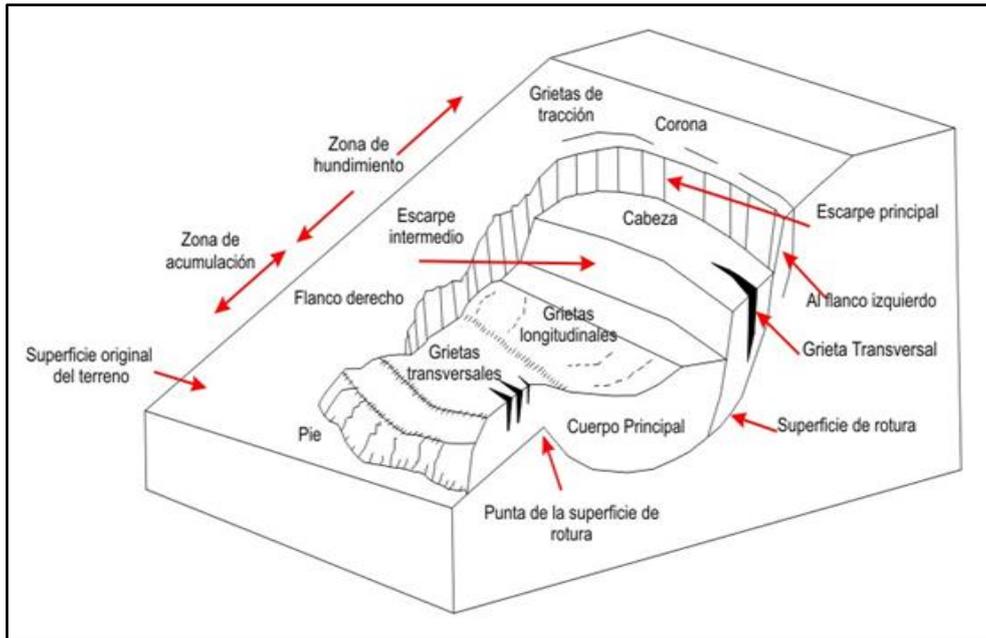


Figura 4. Partes de un deslizamiento rotacional.

Erosión de laderas: Este tipo de eventos son considerados predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas, que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Gonzalo et al., 2002).

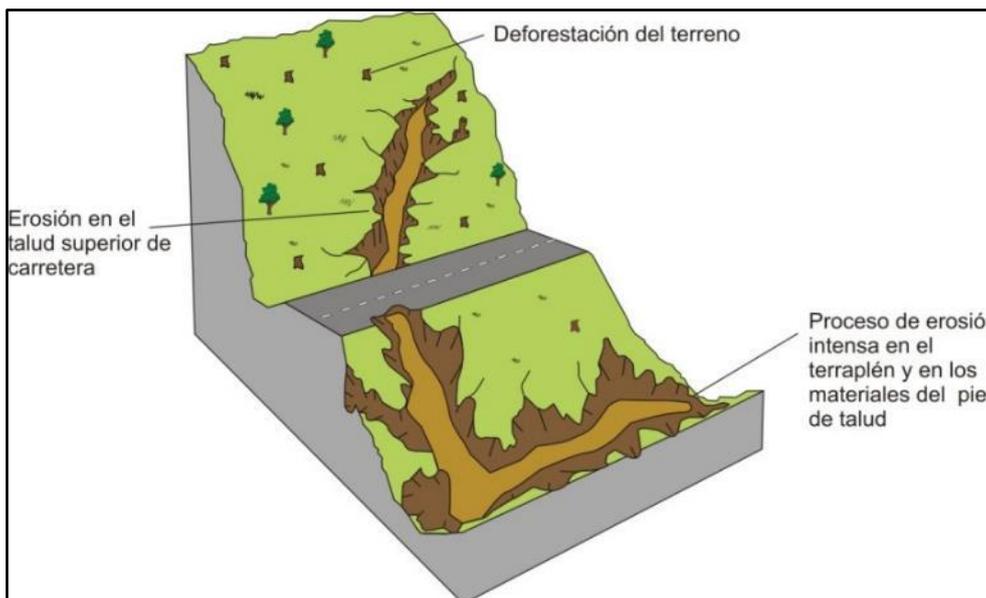


Figura 5. Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

En esta sección se dan algunas propuestas de solución para el tratamiento de los procesos de movimiento en masa que afectan la quebrada Accomayo, a fin de minimizar la ocurrencia de futuras reactivaciones y a su vez también prevenir la ocurrencia de otros movimientos en masa susceptibles a generarse en el referido sector; para ello se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones como medidas de prevención y mitigación:

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 1). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 1. Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud.	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados sub superficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo.
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir.
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996

Los sistemas más comunes para el control del agua son:

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial.
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores.
- Subdrenes horizontales o de penetración.

Drenaje superficial: El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial:

- a. Canales para redireccionar el agua de escorrentía.** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. Zanjas de corona.** Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
- c. Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. Canales colectores en Espina de Pescado.** Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua.

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

B. CORRECCIÓN POR MODIFICACIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD

Abatimiento de la pendiente. La disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción para considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro. La disminución de la pendiente puede ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero generalmente tiene muy poco efecto o puede tener un efecto negativo en deslizamientos de traslación. Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno (figura 6). Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.

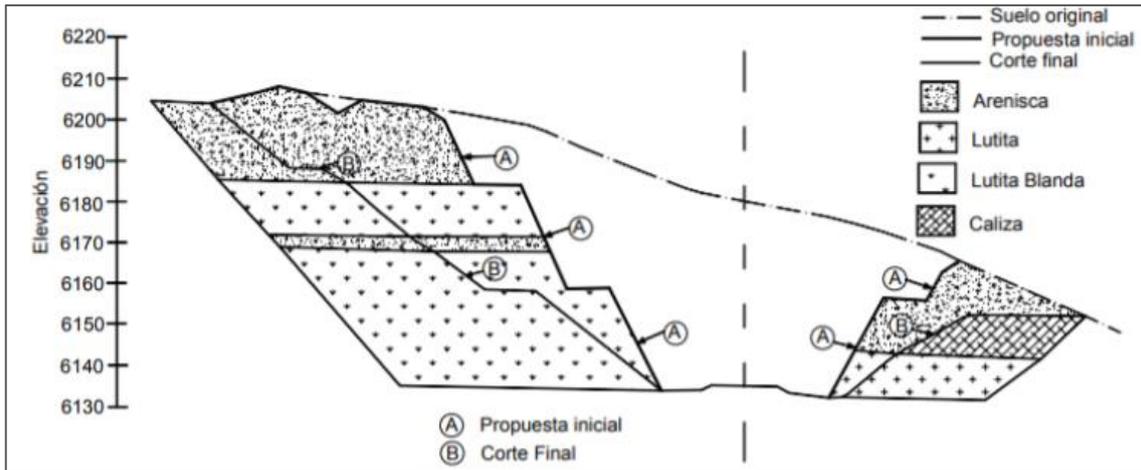


Figura 6. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzáles, 2002).

Las acciones que pueden realizarse sobre la geometría de un talud para mejorar su estabilidad son las siguientes:

- Eliminar la masa inestable o potencialmente inestable. Esta es una solución drástica que se aplica en casos extremos, comprobando que la nueva configuración no es inestable.
- Eliminar el material de la parte superior (descabezamiento) de la masa potencialmente deslizante. En esta área el peso del material contribuye más al deslizamiento y presenta una menor resistencia, dado que la parte superior de la superficie de deslizamiento presenta una máxima inclinación. Por ello la eliminación de escasas cantidades de material produce aumentos importantes del factor de seguridad.

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de taludes es la conformación o diseño de la morfología del talud (cuadro 2). Al modificar la forma de la superficie del talud, se puede lograr un equilibrio de masas, que reduzca las fuerzas que producen el movimiento y que aumente la longitud del círculo crítico de falla.

Método	Ventajas	Desventajas
Remoción de materiales de la cabeza del talud	Muy efectivo en la estabilización de los Deslizamientos rotacionales	Muy efectivo en la estabilización de los deslizamientos rotacionales
Abatimiento de la pendiente	Efectivo, especialmente en los suelos friccionantes.	No es viable económicamente, en los taludes de gran altura.
Terraceo de la superficie	Además de darle estabilidad al deslizamiento, permite construir obras para controlar la erosión.	Cada terraza debe ser Estable independientemente.
Colocación de bermas o contrapesos	Contrarrestan el momento de las fuerzas actuantes y, además, actúan como estructura de contención.	Se requiere una cimentación con suficiente capacidad de soporte.

Fuente: Suárez, 1996

C. TRABAJOS PARA DISMINUIR LOS IMPACTOS DE FLUJOS.

- i. **Diques desviadores del flujo o barreras deflectoras:** La dirección de flujos detríticos puede ser controlada por la construcción de diques suficientemente altos como para prevenir rebases (Okubo et al., 1997). La diferencia con las barreras laterales es que este tipo de obras impide que el flujo mantenga su dirección natural desviándolo hacia otra zona. Pueden ser utilizadas para proteger alguna estructura, dirigir el flujo hacia otra zona, o aumentar el largo local del cauce, disminuyendo así su pendiente para favorecer la depositación (figura 7), (VanDine, 1996).

Además de los criterios de diseño utilizados para la construcción de las obras controladoras de dirección, debido a la curvatura que tendrá el cauce, deben considerarse criterios sobre fuerzas de impacto, sobre elevación y trepamiento del flujo (VanDine, 1996).

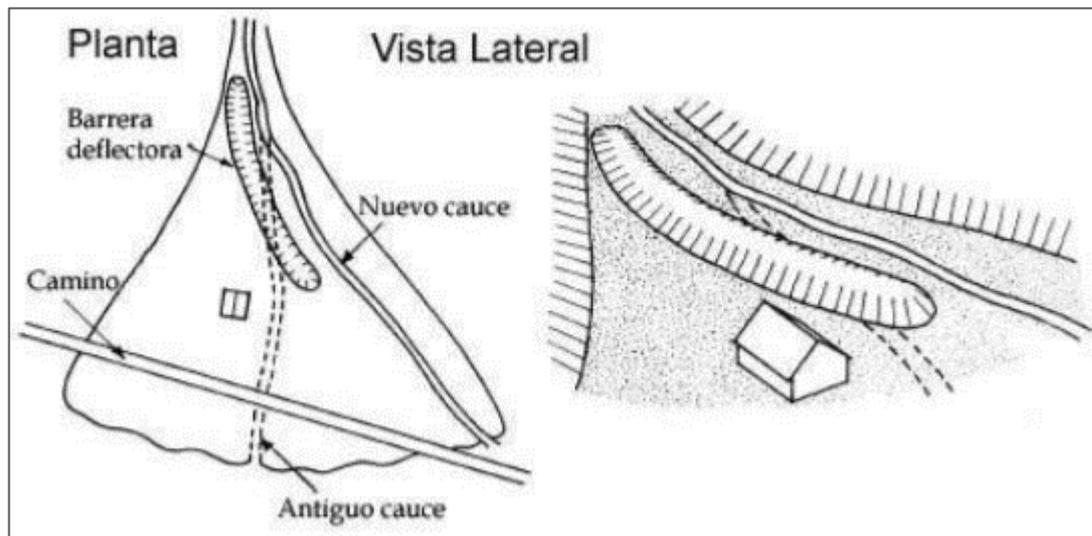


Figura 7. Diques desviadores (VanDine 1996).

- ii. **Construcción de presas contenedoras (chek dams):** Se requiere de una estabilización en la zona de inicio de flujos detríticos, con la finalidad de estabilizar y disminuir la carga de material de los posibles flujos que se puedan generar, esto se puede lograr con la construcción de este tipo de presas.

Según VanDine (1996), en la zona de transporte se construyen presas contenedoras en serie, con el fin de disminuir la pendiente en forma local y minimizar la erosión en el fondo y laderas del cauce (figura 8).

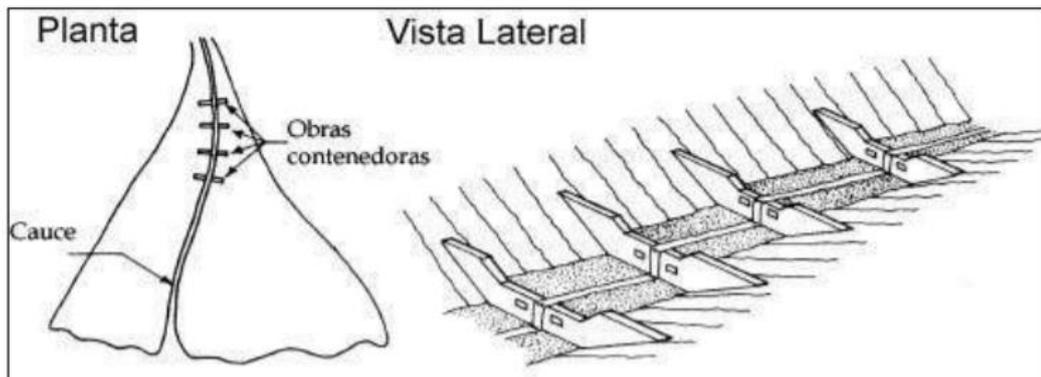


Figura 8. Esquema de ubicación y función de presas contenedor ("check dams") (VanDine, 1996).

- iii. **Presas impermeables** o del mismo tipo que las utilizadas como presas contenedoras o consolidadoras, también son utilizadas como obras de almacenamiento. El diseño de estas presas consiste en retener gran parte de los sedimentos arrastrados por un aluvión, de esta manera, al entrar el flujo al pie de la ladera, la concentración de sedimentos es lo suficientemente baja como para no causar daños y ser conducido sin mayores problemas (Electrowatt, 1995). Estas obras deben ser mantenidas constantemente con el fin de que se encuentren operativas.

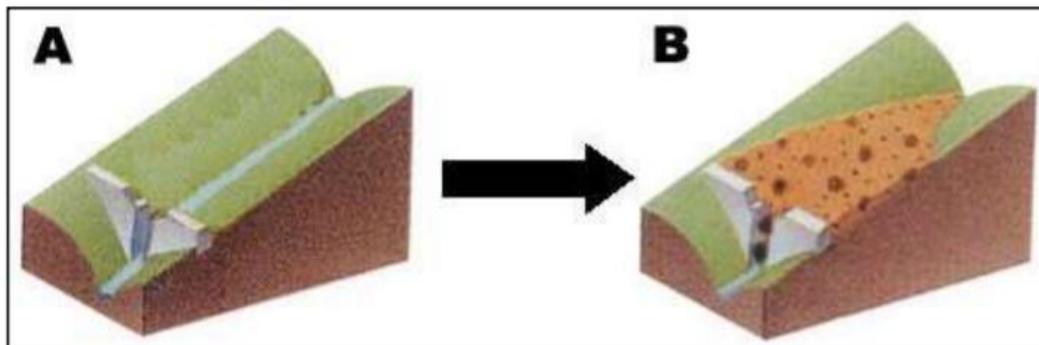


Figura 9. Función de presas abiertas (slit dam): 1) La presa permite que los sedimentos escurran libremente para condiciones normales; 2) Cuando ocurre un flujo detrítico de proporciones, los sedimentos son capturados y retenidos temporalmente previniendo desastres hacia aguas abajo (International Sabonetwork, <http://www.saboint.org>).

- iv. **Barreras flexibles de cables:** La colocación de estos tipos de barreras son eficaces contra las cargas dinámicas y estáticas causadas por corrientes de detritos o flujos de lodo siempre y cuando estén diseñados con cables de soporte de alta resistencia. En este caso deben ser diseñados para torrente estrecho de base triangular.

Estas barreras tienen muy buenas ventajas con respecto a otros sistemas de contención ya que el tiempo de construcción es reducido considerablemente, además existe un ahorro de costos del 30 al 50 % en comparación con las obras de hormigón y pueden diseñarse barreras únicas para avalanchas de hasta 1.000 m³ y barreras múltiples escalonadas para volúmenes de varios miles de m³.



Figura 10. Diseño de barras flexibles de cables para retener corrientes de flujos de detritos.

v. Disipadores de energía (debris flow brakers):

Combinar las obras de retención con obras disipadoras de energía. El objetivo de las obras disipadoras de energía no es el de detener o depositar el flujo detrítico, si no que el objetivo consiste en dividir al flujo con el fin de reducir su velocidad y disipar energía, de manera que éste se deposite en zonas adecuadas ubicadas hacia aguas abajo.

Las estructuras en madera resultan ventajosas por su bajo presupuesto (fotografía 2). Sin embargo, la duración de la madera es limitada, por lo que su uso es recomendado en lugares donde el tiempo en servicio de la construcción no supere los 30 a 50 años. Luego de este tiempo la estrategia de control debe ser remplazada por otras técnicas.



Fotografía 2. Estructura construida en madera (Fiebigler, 2003).