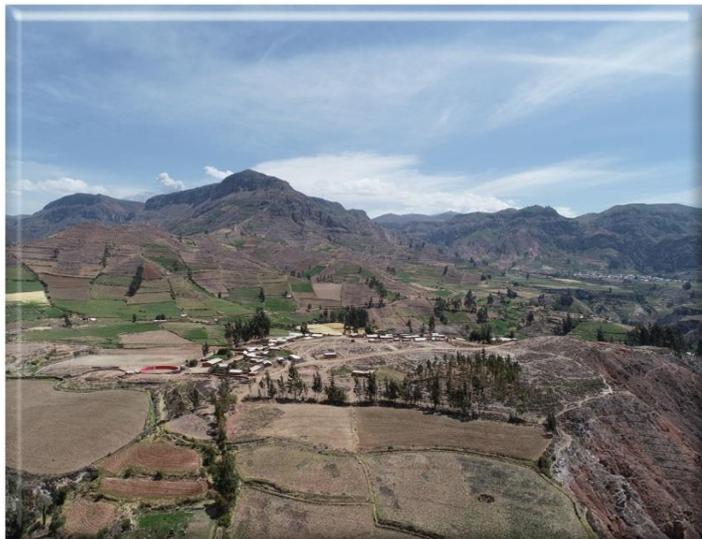


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A6886

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL ANEXO SAN BASILIO

Región Arequipa
Provincia Caylloma
Distrito Huanca



ABRIL
2019

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Ubicación	2
2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	3
2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	4
2.2 Geformas de carácter deposicional y agradacional.....	4
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
4. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS	8
4.1 Hundimiento	11
4.2 Deslizamiento	15
4.3 Erosión de laderas (cárcavas)	17
4.4 Derrumbes.....	18
5. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS	21
5.1 PARA DESLIZAMIENTOS	21
5.2 PARA DERRUMBES	22
5.3 PARA HUNDIMIENTOS	23
6. CONCLUSIONES	24
7. RECOMENDACIONES	24
8. BIBLIOGRAFIA	26
GLOSARIO DE TÉRMINOS	27
ANEXOS	29

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), como ente técnico-científico, desarrolla dentro de las actividades de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el apoyo y asistencia técnica a los tres niveles de gobierno (nacional, regional y local); su alcance contribuye con las entidades gubernamentales en el reconocimiento, caracterización y diagnóstico de los peligros geológicos en sus territorios, con la finalidad de proporcionar una opinión técnica sobre la problemática, además de proponer medidas a implementar para la prevención y mitigación ante la ocurrencia de desastres.

La jefa de la oficina Regional de Defensa Nacional y Defensa Civil de Arequipa, Lic. Jackeline Choque Cuno, mediante Oficio N° 747-2018-GRA/ORDNDC, dirigida al presidente del Consejo Directivo del INGEMMET, solicita se realice una inspección técnica en la zona de derrumbes en el Anexo San Basilio, distrito Huanca. El Director de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó a los profesionales Jessica Vela, Yhon Soncco y Joseph Huanca, para realizar la inspección geológica del lugar en mención.

Este informe técnico tiene como objetivo la caracterización geomorfológica y geológica, así como también la identificación de peligros geológicos de la zona de estudio apoyado del levantamiento fotogramétrico efectuado con un dron multirrotor. De igual modo, en el informe que se pone a consideración de los interesados, se proponen medidas de mitigación para reducir los daños causados a los pobladores del Anexo San Basilio.

1.1 Ubicación

La zona de estudio se localiza en el Anexo San Basilio, jurisdicción del distrito Huanca, provincia Caylloma, región Arequipa. Se encuentra a 30 km al sur del cráter del volcán Sabancaya y a 4 km al suroeste de la localidad de Huanca, (figura 1, foto 1). La zona es accesible desde el centro del distrito, en un tiempo aproximado de 20 minutos. Las coordenadas geográficas de la zona de estudio son:

Latitud: 16° 2' 48.28"S

Longitud: 71°54' 7.05"O

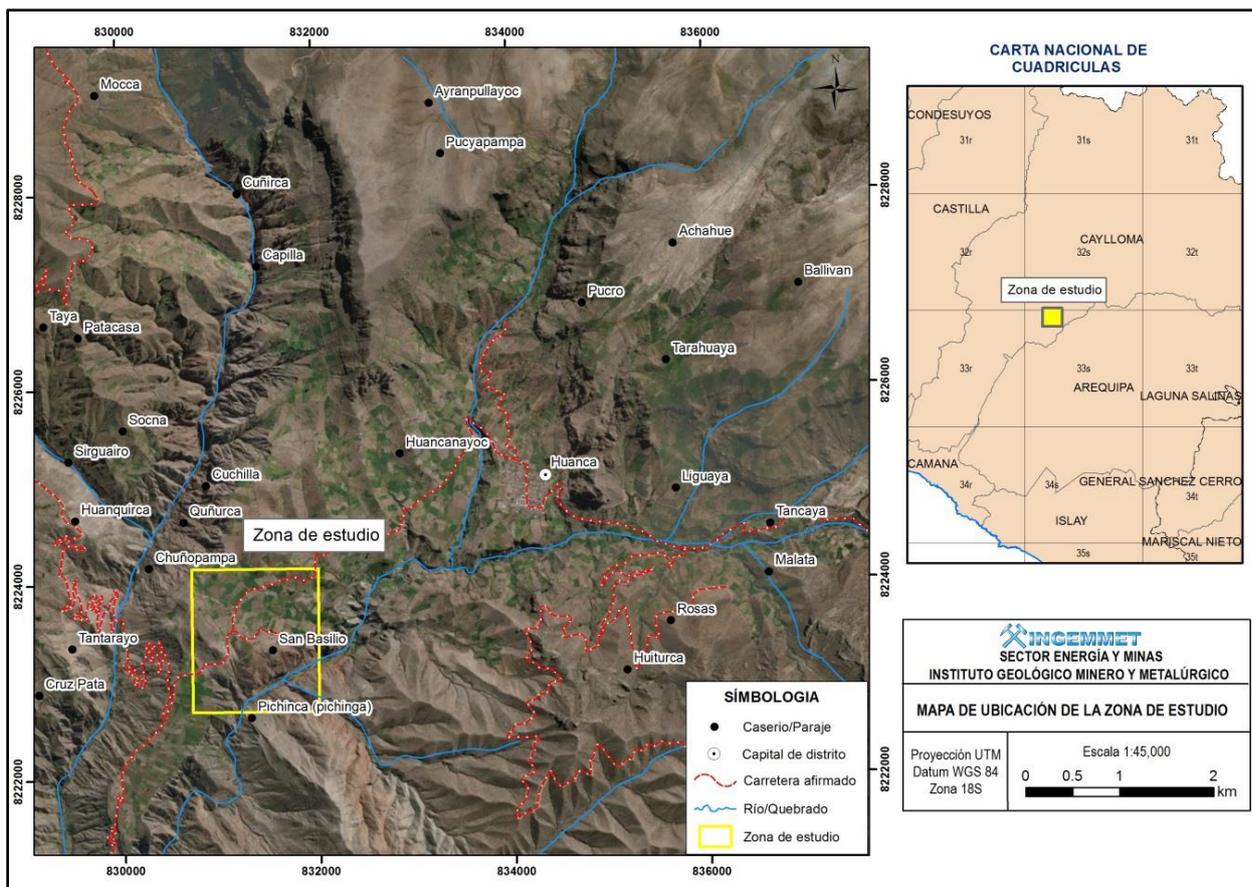


Figura 1. Mapa de ubicación y acceso de la zona de estudio.



Foto 1. Vista del Anexo San Basilio. Al fondo se divide una columna eruptiva del volcán Sabancaya.

2. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

En la zona de estudio y alrededores se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas:

2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Son geoformas resultantes del efecto progresivo de procesos de morfología dinámica y degradacional, originados por la actividad tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales (acumulación de depósitos); estos procesos conducen a la modificación parcial o total del relieve a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005), figura 2.

a) Colina estructural en roca sedimentaria (RMCE-rs):

Esta unidad geomorfológica posee un relieve de colinas, conformados por anticlinales y monoclinales con superficies onduladas y disectadas por quebradas ligeramente profundas. Las laderas presentan pendiente de 30 a 40%, litológicamente estas colinas y lomas están compuestas por rocas de la Formación Chilcane. Esta unidad geomorfológica se ubica en la parte central de la zona de estudio.

b) Colina y lomada en roca sedimentaria (RCL-ls):

Esta unidad geomorfológica posee un relieve de colinas y lomadas con superficies onduladas y disectadas por quebradas ligeramente profundas. Las laderas presentan pendiente de 30 a 40%, litológicamente estas colinas y lomas están compuestas por rocas de la Formación Arcurquina. Esta unidad geomorfológica se ubica en el sector suroeste de la zona de estudio.

2.2 Geformas de carácter deposicional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía de ríos o quebradas, los glaciares, y los vientos (figura 2).

a) Vertiente glacio-fluvial (V-gfl):

Esta unidad geomorfológica posee un relieve suavemente ondulado, compuesto por acumulación de sedimentos de arrastre glacio-fluvial, del Cuaternario.

Esta unidad se halla modificada por la erosión fluvial que ha labrado quebradas poco profundas de fondo plano en las partes bajas y cañones en las partes próximas al flanco andino. En las secciones intermedias la topografía es ondulada, con pendientes moderados de 30%. Esta unidad geomorfológica se ubica en la parte norte y este de la zona de estudio.

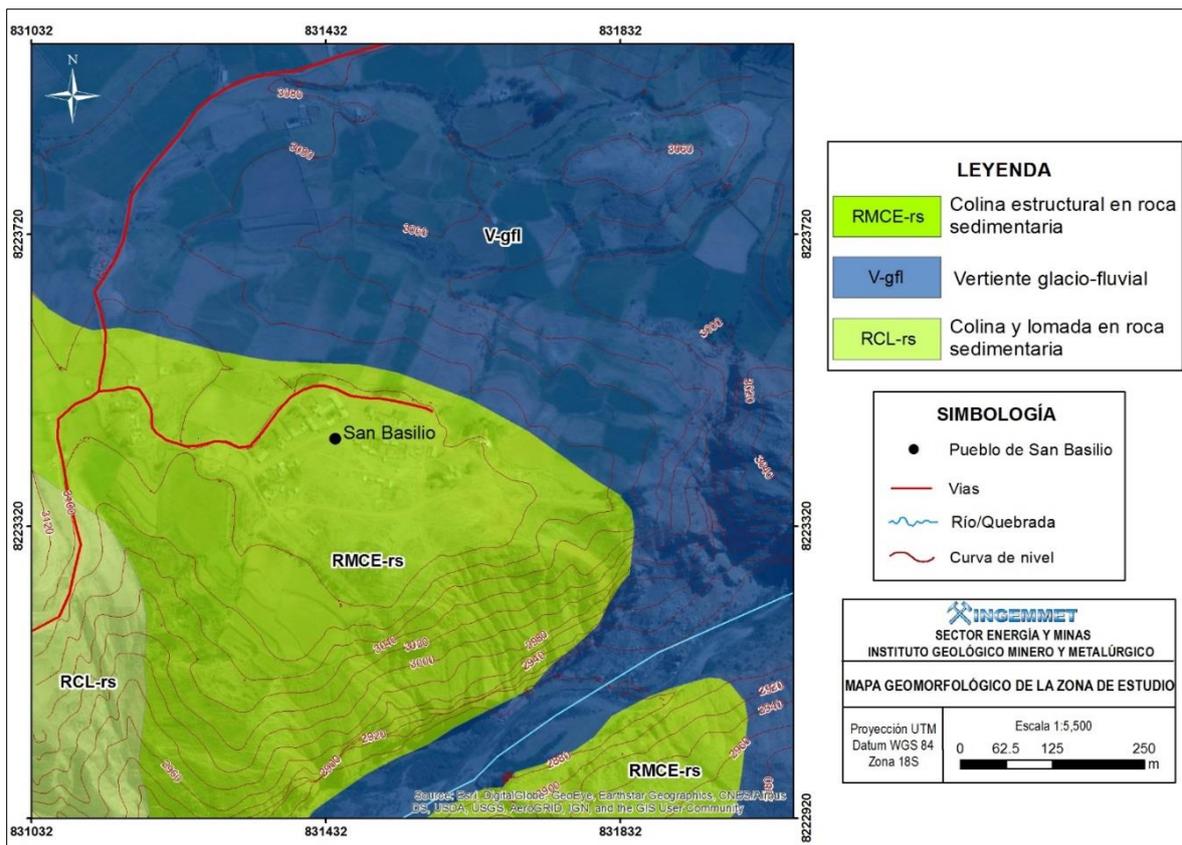


Figura 2. Mapa geomorfológico de la zona de estudio.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

Las unidades litológicas (formaciones geológicas) que afloran en el área de estudio y alrededores corresponden a las formaciones Arcurquina del Cretáceo inferior-superior, Chilcane del Cretácico superior y Huanca del Terciario inferior. Así mismo, afloran depósitos aluviales (figura 3).

Las características de dichos depósitos son descritos a continuación:

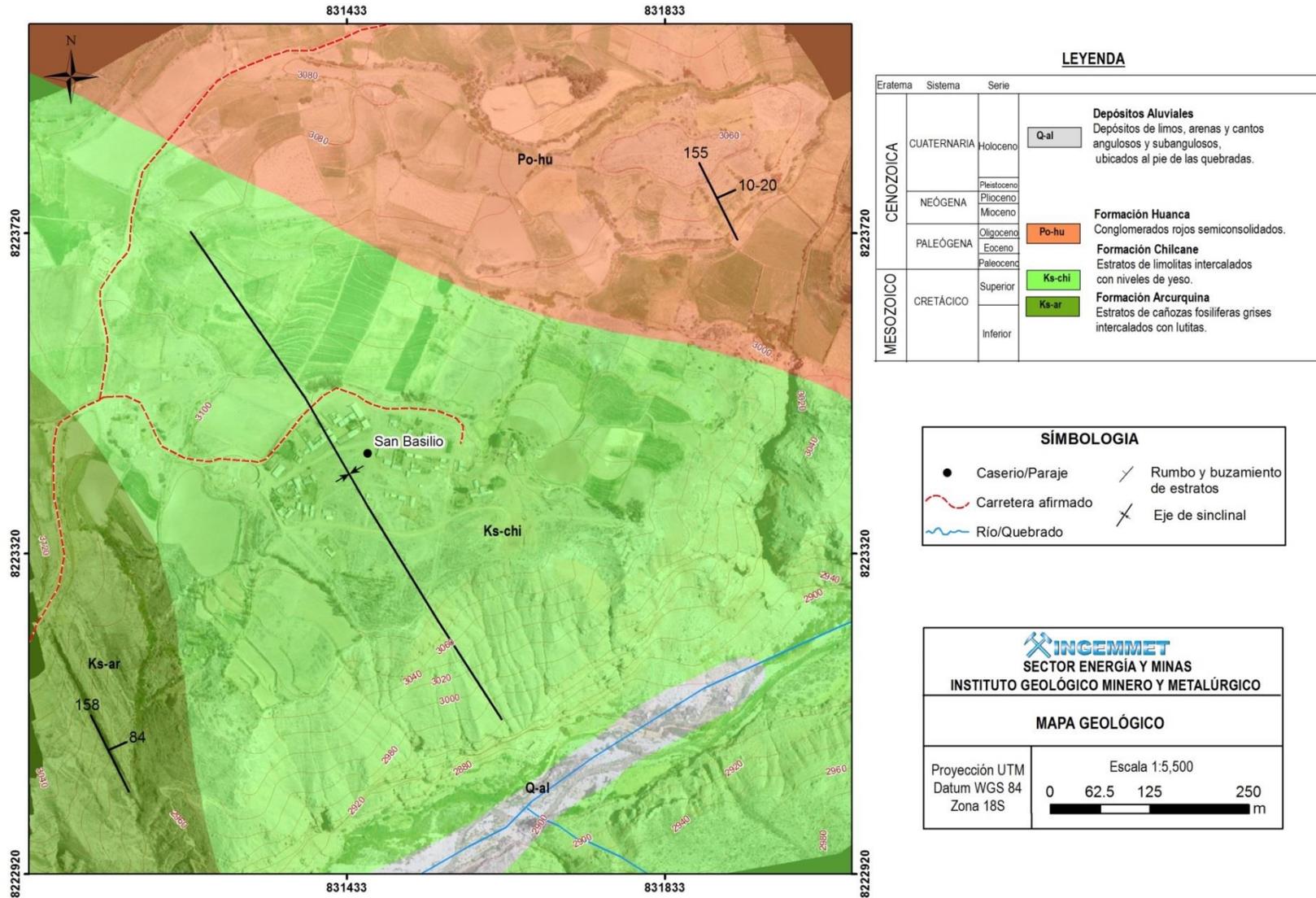


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio (Fuente: Mapa geológico del cuadrángulo de Arequipa 33s4)

- a) **Formación Arcurquina (Ks-ar):** Establecida por Jenks (1948) asignándole un grosor de 640 m. Posteriormente Benavides (1962) mide una sección atribuida a esta formación en 668 m. y la considera como representante típica de esta formación. Su secuencia estratigráfica está conformada en su base por fangolitas y areniscas marrón rojizas que se intercalan con capas gruesas de calizas. En edad corresponde al Cretácico inferior – superior y aflora en el sector suroeste de la zona de estudio. (foto 2).



Foto 2. Calizas de la Formación Arcurquina, ubicadas a 500 m al este del poblado de San Basilio.

- b) **Formación Chilcane (Ks-chi):** Benavides (1962) la describe como una serie de secuencias de yeso, que poseen un color blanco con tendencias rojizas y verdosas, y una ligera estratificación paralela a la de la formación infrayacente, intercalándose con algunas capas delgadas de lodolitas rojas y lutitas verdes. El yeso se presenta fibroso, sacaroideo y raras veces cristalizado (foto 3).

Topográficamente presenta un suave relieve debido a su poca resistencia a los agentes erosivos, en contraste con las rocas que lo albergan. Depósitos de esta naturaleza por lo general se originan en un ambiente marino bajo condiciones especiales.

La Formación Chilcane corresponde al Cretácico superior y aflora en la parte central de la zona de estudio.



Foto 3. Afloramiento de yeso y lodolitas de la Formación Chilcane. La población de San Basilio y sus terrenos de cultivo se encuentran sobre estos depósitos.

- c) **Formación Huanca (Po-hu):** Nombrada así por Jenks (1948), a un afloramiento que se presenta a manera de una franja entre la Formación Arcurquina y el volcánico Tacaza. Esta compuesta de areniscas arcólicas marrón rojizas de grano medio a grueso, elementos de cuarzo angulares a subangulares; presenta un azimut de 155° , buzamientos de 10° a 20° y en ocasiones una ligera estratificación cruzada, los estratos de areniscas contienen lentes e intercalaciones de conglomerados, los cuales gradualmente van aumentando hasta predominar en los niveles superiores de esta formación. Aflora en el sector norte de la zona de estudio. (figura 3).

Esta formación carece de fósiles, por lo tanto, no es posible establecer su edad precisa, pero Jenks (1948), por sus relaciones estratigráficas y composición, la considera equivalente a la Formación Puno (Grupo Puno) del Terciario Inferior (Newell, 1949).

- d) **Depósitos Aluviales (Q-al):** Están compuestos por gravas, arenas, con clastos subredondeados a redondeados, y un soporte de matriz areno limoso asociado a flujos de barro y conos aluviales. En la zona de estudio los depósitos aluviales están ubicados en el valle del río Cuyhuas (figura 3).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS

Los peligros geológicos identificados en el área de estudio, están asociados principalmente a movimientos en masa. El término movimientos en masa incluye todos

aqueellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991 en PMA: GCA, 2007). Los movimientos en masa representan procesos geológicos superficiales, que involucran la remoción de masas rocosas con características inestables, depósitos inconsolidados de diferente origen, competencia y grado de cohesión, o la combinación de ambos, por efecto de la gravedad. En el área de estudio, los movimientos en masa, están estrechamente ligados a factores detonantes como, lluvias de gran intensidad o gran duración asociadas a eventos excepcionales y al sistema de riego. Los factores condicionantes o intrínsecos que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa son la litología (calidad de la roca y permeabilidad), morfología y pendiente del terreno.

Los principales peligros geológicos a los cuales está expuesto San Basilio son movimientos en masa del tipo: Hundimientos, deslizamientos y derrumbes (figura 4).

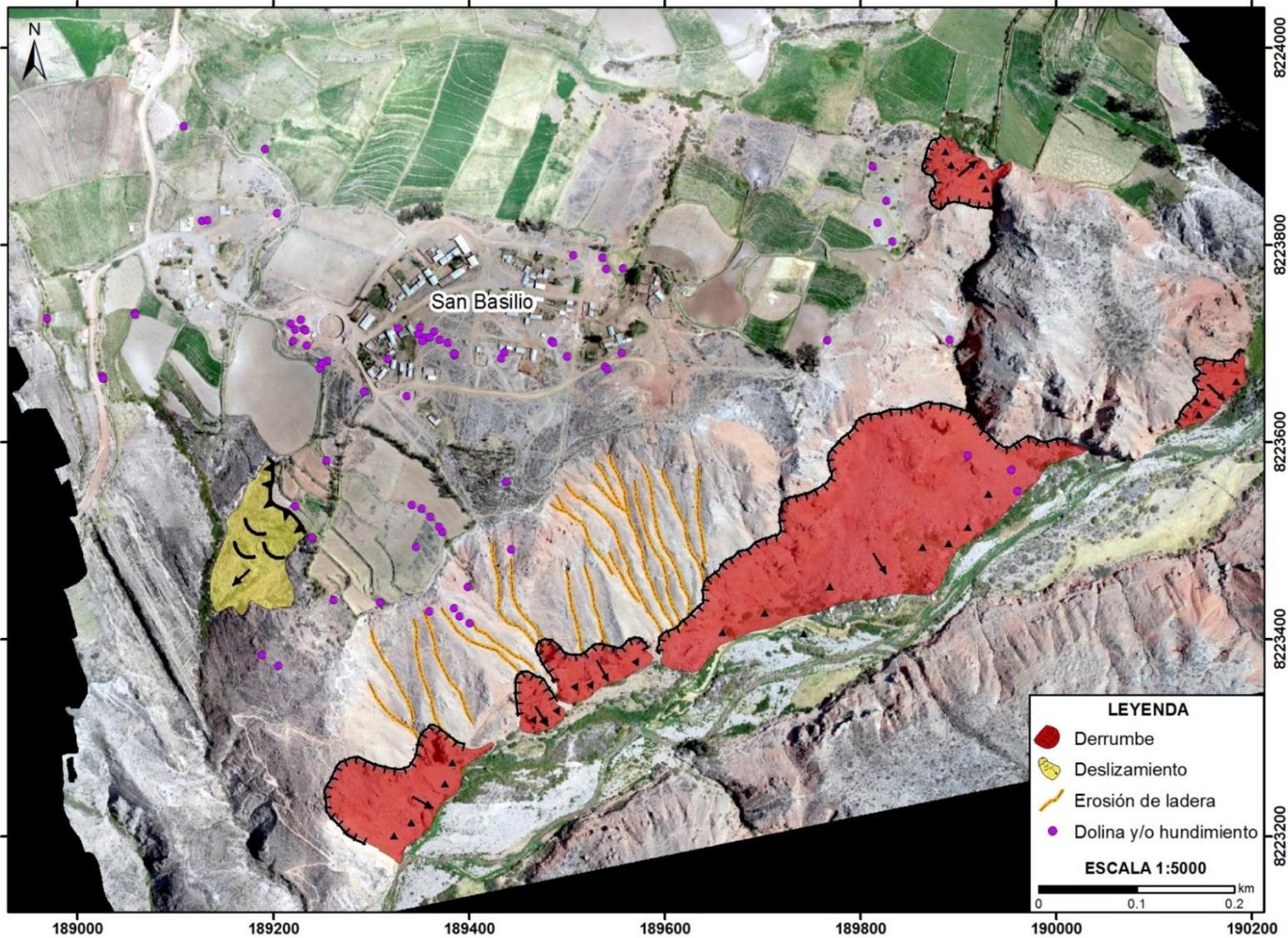


Figura 4: Cartografiado de peligros geológicos en el Anexo de San Basilio sobre la ortofoto de 5 cm/pix obtenida a partir de fotografías tomadas con el dron Phantom 4 Pro.

4.1 Hundimiento

El área de San Basilio presenta un relieve suave y ondulado, con presencia de dolinas, formas típicas en zonas de karst donde se han presentado los actuales hundimientos.

El karst es uno de los fenómenos geológicos que debe ser considerado como fuente potencial de riesgo en el territorio y, en particular, en zonas urbanas. Su peligro radica en la subsidencia o colapso de la superficie del terreno que puede producirse como consecuencia de la formación de cavidades en el subsuelo, y que se manifiesta en la formación de depresiones cerradas conocidas como dolinas. Tradicionalmente se ha prestado mayor atención al karst desarrollado en calizas; sin embargo, el generado sobre yesos entraña un mayor peligro, ya que la velocidad de disolución del yeso en agua pura es del orden de 10^3 veces mayor, de modo que el karst puede desarrollarse en yesos en sólo unas decenas de años, incluso en zonas de clima semiárido (Cooper, 1998).

En San Basilio, el problema más importante es el relacionado con los hundimientos del terreno, proceso generado por la disolución del sulfato de calcio (yeso), a través de la infiltración de agua proveniente de la lluvia y las malas técnicas de regadío en los terrenos de cultivo. Los hundimientos están desencadenando otros peligros geológicos en el área de estudio como deslizamientos y derrumbes.

Las dimensiones de las dolinas tienen diámetros de hasta 2.5 m y un mínimo de 1 m (foto 4a). Alcanzan profundidades de hasta 3 m, pero en otros casos no son visibles. También se observó dolinas a lo largo de los terrenos agrícolas, con diámetros comprendidos entre 1 a 3 m (foto 4b, 5a). Además, se han formado grietas en la superficie del terreno en diferentes direcciones, los cuales indican la inestabilidad del terreno (foto 5b). Las imágenes obtenidas con drone nos han ayudado a identificar las zonas de hundimientos y dolinas en el anexo San Basilio (foto 6).

Los agricultores de San Basilio están conviviendo diariamente con las dolinas. Allí donde la velocidad de hundimiento es controlable, han conseguido conservar la superficie de cultivo procediendo a rellenar periódicamente las depresiones, bien redistribuyendo la tierra vegetal o mediante aportes del exterior. Dejadas en su estado natural, esas depresiones han sido colonizadas por la vegetación.

Por su peso cuantitativo, el mayor riesgo de pérdidas económicas por deterioro o ruina de construcciones e infraestructuras se da en las numerosas zonas sujetas a hundimiento lento, en las que los daños estructurales y viales es continuo. No obstante, el mayor riesgo humano lo constituyen los episodios de colapso repentino, aun cuando, afortunadamente por el momento, no se tiene noticia de ninguna víctima humana grave a consecuencia de los mismos.



Foto 4. a) Dolina de 2.5 metros de diámetro, ubicado en el patio de una pobladora del Anexo San Basilio. La dolina fue rellena con material de escombros y basura. **b)** Dolina de 3 metros de diámetro, ubicado en terreno de cultivo.



Foto 5. a) Poblador señalando una dolina formada en su terreno agrícola. La dolina mide 2 metros de diámetro. **b)** Grietas formadas en la superficie de terrenos agrícolas.

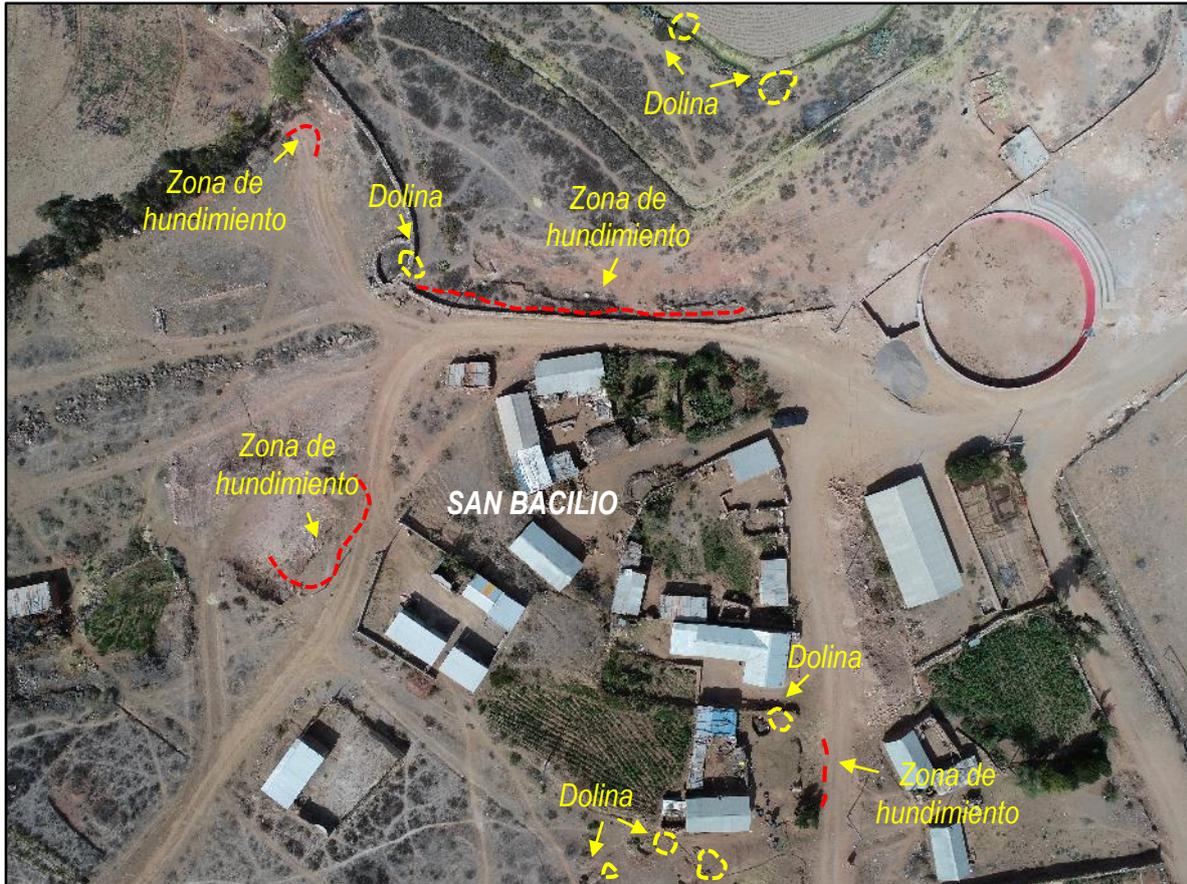


Foto 6: Imagen satelital, muestra dolinas de colapso y zonas de hundimientos en el pueblo de San Basilio.

Sobre la superficie, las dolinas recogen y transmiten el agua de lluvia hacia el interior de los yesos. Ya en el interior del karst, el agua se infiltra y disuelve la roca de yeso y arrastra los sedimentos finos, situados entre las capas de yeso. Se genera así una compleja red laberíntica de galerías intercomunicadas y superpuestas. Las aguas que se infiltran en el karst se evacúan hacia el exterior a través de flujos de agua. En la quebrada del río Cuyhuas se ha observado flujos de agua color rojizo que proviene de dolinas y zonas de grietas (foto 7).



Foto 7. Flujos de agua color rojizo que proviene de zonas de dolinas y grietas.

Causas del hundimiento

- La naturaleza litológica de la zona, presenta rocas de diferente competencia (yeso y lodolitas). El yeso tiene alta solubilidad y las lodolitas se meteorizan o alteran rápidamente.
- La presencia de suelo arcillo-limoso de alta plasticidad.
- Fuertes lluvias y malas técnicas de riego en los terrenos de cultivo. La infiltración de agua hacia el subsuelo sobrecarga y aumenta el peso del terreno.

Daños causados:

- Los hundimientos están afectando a la iglesia de San Basilio. La iglesia presenta grietas en las paredes y piso (foto 8).
- Las aulas de la Institución Educativa San Basilio Magno N°408, presentan grietas en las paredes y piso (foto 9).



Foto 8. Vista de la iglesia de San Basilio. **a)** Grieta en el piso de hasta 10 cm de abertura que ha sido rellenado con cemento. **b)** Grietas en las paredes de 3 cm de abertura.



Foto 9. Vista de la Institución Educativa San Basilio Magno 408. **a)** Se observa grietas en las paredes de 5 cm de abertura. **b)** Grietas en el piso, con abertura de 10 cm.

4.2 Deslizamiento

Los fenómenos de ladera o movimientos de ladera son desplazamientos de masas de tierra o de rocas que se encuentran en pendiente, se entiende como movimiento del terreno o desplazamientos que afectan a los materiales en laderas o escarpes. Estos desplazamientos se producen hacia el exterior de las laderas y en sentido descendente como consecuencia de la fuerza de la gravedad (Corominas y García Yagüe, 1997).

Características del deslizamiento

Se ha identificado un deslizamiento que se ubica a 145 m al sureste del pueblo de San Basilio. Se trata de un deslizamiento de tipo rotacional, el cual presenta un escarpe de forma semicircular, la cabecera posee 120 m de longitud y la distancia desde la cabecera al pie de deslizamiento es de 140 m (foto 10). El escarpe tiene entre 15 y 25 m de altura (foto 11) y el cuerpo del deslizamiento muestra una cantidad importante de grietas y dolinas o zonas de hundimientos. Presenta grietas tensionales en la parte superior del deslizamiento, con aberturas que van desde algunos centímetros hasta 1 m, siguiendo la

misma dirección del escarpe principal, lo que las hace de gran importancia para estudio de vulnerabilidad en esta zona (foto 12).

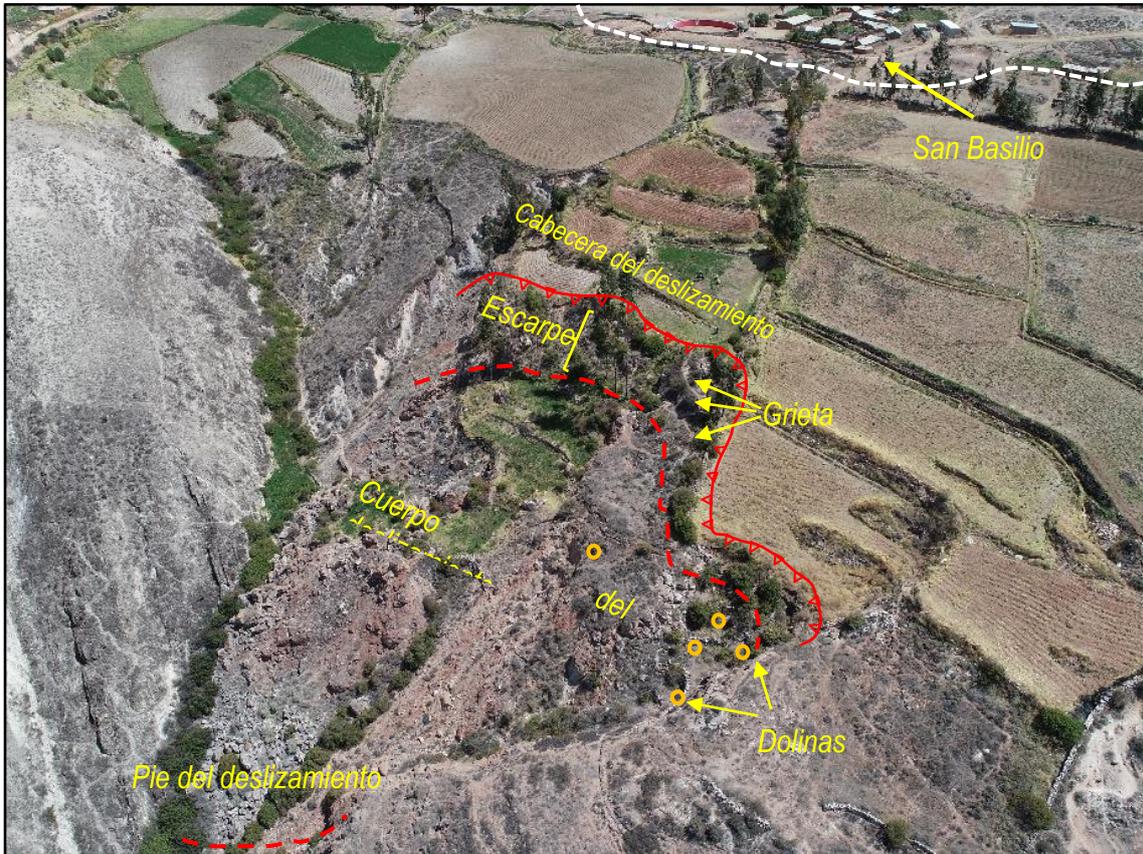


Foto 10. Imagen de drone panorámica que muestra las componentes del deslizamiento.



Foto 11. Escarpa del deslizamiento (indicados con flechas de color rojo). Tiene una altura aproximada de 15 m.

Causas del deslizamiento

Las causas para la ocurrencia de estos procesos, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno y presencia de agua en los materiales (rocas y suelos). Las causas de deslizamiento en San Basilio son:

- Rocas de mala calidad, conformadas por lodolitas y yeso alterados e hidrotermalizados, además de gravas, arena y limos. Inestables si se saturan de agua.
- Pendiente del terreno, entre 25° a 30°.
- Intensas precipitaciones pluviales de la temporada.
- Filtración de aguas superficiales, por canales de riego y escorrentía sin tratamiento de impermeabilización
- Presencia de dolinas o zonas de hundimiento en el cuerpo el deslizamiento.



Foto 12. Grietas tensionales, se ubican en la parte alta del escarpe del deslizamiento.

Daños causados:

- El deslizamiento afectó aproximadamente una hectárea de cultivo. Además, se ha producido pérdida de ganado vacuno.

4.3 Erosión de laderas (cárcavas)

Se han identificado procesos de erosión de laderas (cárcavas) en la quebrada del río Cuyhuas, al sur del pueblo San Basilio. Este tipo de erosión, en los periodos de lluvias intensas se reactivan y generan derrumbes. Estos eventos marcan la actividad geodinámica y su alto grado de susceptibilidad, a la que está expuesta la zona de estudio. Las cárcavas se disponen en forma paralela y tienen anchos entre 0.5 a 3 m y profundidades entre 0.5 a 1 m (foto 13).

Causas de erosión de laderas

- Laderas con pendiente promedio de 30 a 35°.
- El substrato rocoso, conformado por lodolitas, yeso, envueltos en una matriz limo arenosa con cemento arcilloso o calcáreo. Materiales de mala calidad, se encuentran moderada a altamente meteorizadas.
- Las cárcavas al profundizar su cauce, desestabilizan su entorno, generando material suelto, que son vertidos sobre el cauce de la quebrada. En tiempos de lluvia intensa, estos materiales son movilizados aguas abajo, se canaliza y genera flujos, así como también derrumbes.



Foto 13. Laderas en las márgenes del río Cuyhuas con pendiente entre 30 a 35° sobre las cuales se observan las erosiones a manera de cárcavas.

4.4 Derrumbes

Es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. 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). Estos movimientos tienen velocidades muy rápidas a extremadamente rápidas.

En la margen derecha del río Cuyhuas, se ha identificado zonas de derrumbes (foto 14). Los derrumbes presentan una longitud de hasta 250 m y una altura entre 15 y 30 m entre la escarpa y pie del derrumbe.

Causas de los derrumbes en San Basilio:

- Erosión fluvial del río Cuyhuas, que genera socavamiento del talud de forma permanente, principalmente entre enero y marzo, periodo en que alcanza sus máximos

caudales, como consecuencia de intensas precipitaciones pluviales en los meses de enero, febrero y marzo. Estas precipitaciones posiblemente originaron la sobresaturación del suelo y lecho rocoso.

- Roca de mala calidad completamente meteorizada, origina suelos de tipo arenoso-arcilloso
- Formación de dolinas y/o hundimientos en diferentes sectores dentro de los derrumbes.
- Presencia de aguas superficiales y subterráneas que permite la saturación del suelo.
- Escasa cobertura de suelo.
- Pendiente del terreno entre 30° a 35°

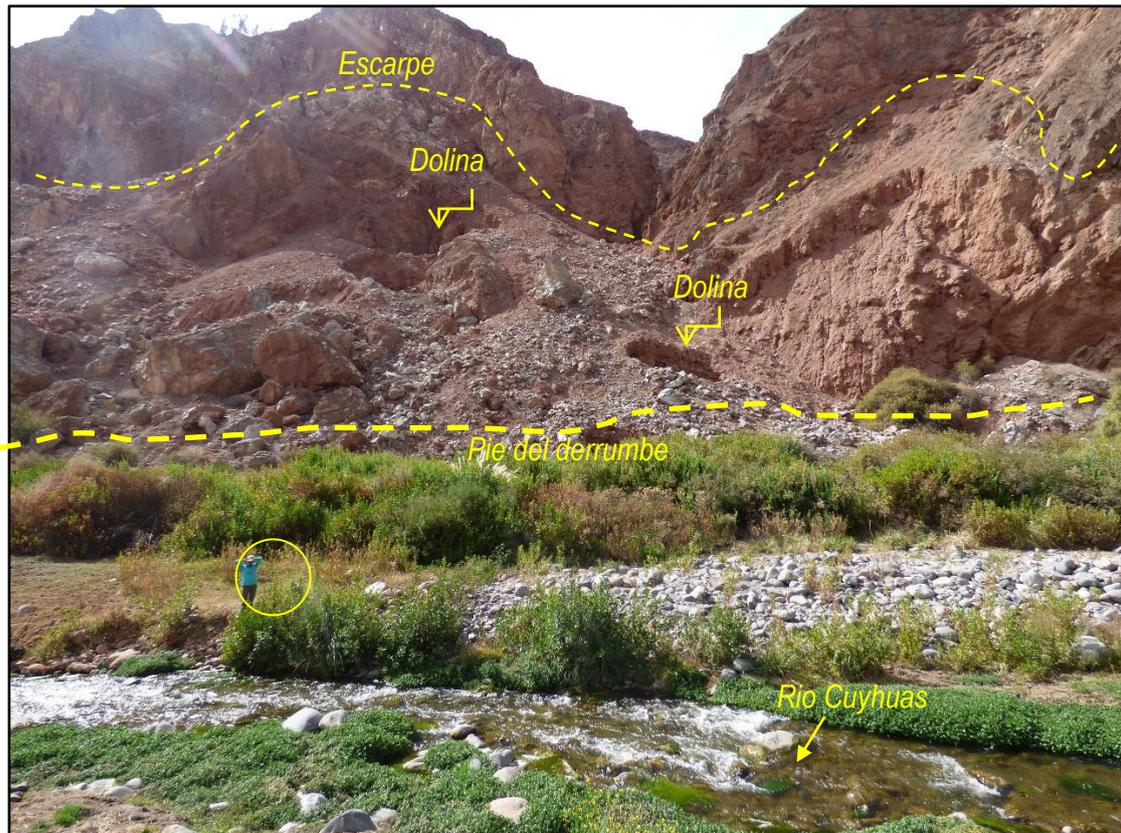


Foto 14. Zona de derrumbes y formación de dolinas, frente al río Cuyhuas.

Por otro lado, en las zonas de derrumbe se ha observado fracturas de hasta 1 metro de diámetro. Según declaraciones de los pobladores, por estas fracturas fluye agua desde el interior del macizo rocoso (foto 15).



Foto 15. Fracturas en zonas de derrumbes por donde fluye agua.

En la quebrada La Yesera, a 170 metros al noreste del pueblo de San Basilio, se ha identificado otra zona de derrumbe. Tiene una altura de 6 metros y un ancho de 8 metros aproximadamente. Presenta bloques de yeso fracturados con tamaños de hasta 2 metros, intercalado con lodolitas rojizas alteradas (foto 16).



Foto 16. Zona de derrumbe al noreste del pueblo de San Basilio.

En los alrededores de la zona de derrumbe (quebrada la Yesera), se ha encontrado canales de riego, los cuales carecen de revestimiento que evite filtración de agua (foto 17), este es

uno de los factores que impulsan la generación de derrumbes. También se observan dolinas de hasta 0.80 m de diámetro en los terrenos de cultivo.



Foto 17. Vista de la margen derecha del derrumbe. a) Canal de riego sin revestimiento. b) Dolinas en terreno de cultivo.

5. PROPUESTA DE MEDIDAS PREVENTIVAS

En esta sección se dan algunas propuestas generales de solución para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de deslizamientos, derrumbes, procesos de erosión de laderas, entre otros; así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

5.1 PARA DESLIZAMIENTOS

Los deslizamientos ocurren esencialmente de forma natural pero también por la actividad antrópica (agrícola, deforestación) mal desarrollada que acelera el proceso; asimismo por el socavamiento al pie de laderas, la utilización de canales sin revestir, etc. A continuación, se proponen algunas medidas para el manejo de estas zonas:

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos.
- Los canales deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento entre otros) para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.
- El sistema de riego de cultivo debe ser tecnificado, por aspersión controlada o por goteo.
- La remoción de la tierra para realizar el cultivo debe ser superficial pues una remoción más profunda realizada con maquinaria puede favorecer la infiltración y saturación del terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Realizar prácticas de conservación y regeneración de la cobertura vegetal natural conformada por pastos, malezas y arbustos.

- Reforestar laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles a utilizar deben contemplarse las características de las raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos; se recomienda que las plantaciones forestales se ubiquen al lado de las zanjas de infiltración con el objeto de captar el agua y controlar la erosión.
- Evitar el sobre pastoreo que produzca deterioro y destrucción de la cobertura vegetal, se debe realizar un manejo de las zonas de pasturas mediante el repoblamiento de pasturas nativas, empleando sistemas de pastoreo rotativo, evitar la quema de pajonales.

5.2 PARA DERRUMBES

A continuación, se proponen algunas medidas para el manejo de estas zonas:

a) Banquetas: Como se muestra en la figura 5, la inclinación de los taludes depende de los suelos y la litología. Cuando la inclinación cambia, en muchos casos se proporciona una banqueta en el punto de cambio de inclinación. Generalmente se emplea una pendiente única cuando la geología y los suelos son los mismos en profundidad y en las direcciones transversal y longitudinal. Cuando la geología y los suelos varían considerablemente y de manera complicada, una pendiente única adecuada al suelo de mayor pendiente podría usarse, aunque esto es antieconómico.

Exceptuando el caso indicado en el párrafo anterior, generalmente se instala una banqueta de 1 a 21 m de ancho, a la mitad de un talud de corte de gran altura.

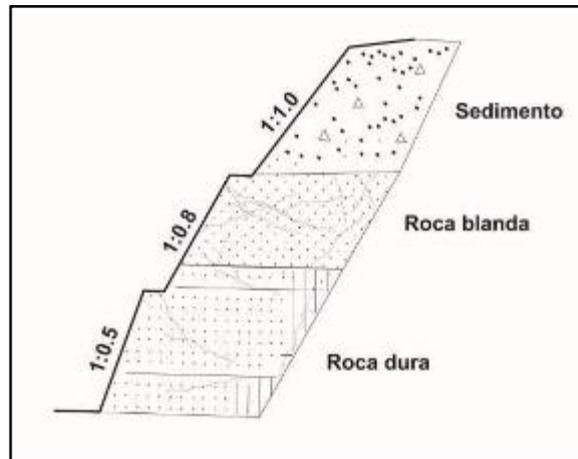


Figura 5. Condición de terreno y forma de taludes

b) Corrección por muros: Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 6). En ocasiones se emplean para estabilizar deslizamientos existentes o potenciales al introducir un elemento de contención al pie (figura 7). Esta forma de actuar puede tener varios inconvenientes. En primer lugar, la construcción del muro exige cierta excavación en el pie del talud, lo cual favorece la inestabilidad hasta que el muro esté completamente instalado. Por otra parte, el muro no puede ser capaz de evitar posibles deslizamientos por encima o por debajo del mismo.

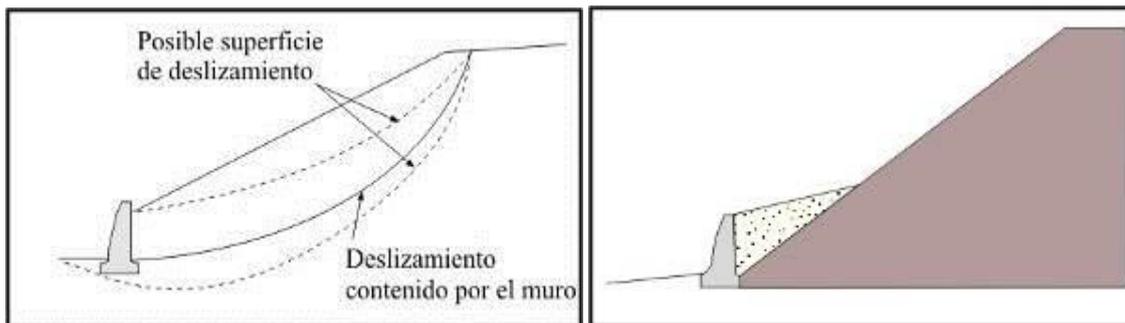


Figura 6. Contención de un deslizamiento mediante un muro (tomado de INGEMMET, 2000)

Figura 7. Relleno estabilizador sostenido por el muro (tomado de INGEMMET, 2000).

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos.

Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes, en los que la falta de espacio, impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

5.3 PARA HUNDIMIENTOS

- En las zonas de hundimientos no permitir el tránsito de personas y de ganado.
- Realizar un estudio de geofísica, para determinar, la profundidad de las oquedades.

6. CONCLUSIONES

1. El Anexo San Basilio se encuentra asentado sobre secuencias de yeso de color blanco-rojizas intercalados con lodolitas de la Formación Chilcane. En la zona de estudio también afloran calizas de la Formación Arcurquina y areniscas de la Formación Huanca, cubiertas por material cuaternario constituido principalmente por depósitos aluviales y coluviales conformada de clastos de grano grueso, mezclados con material fino como arena, limos y arcillas como matriz. Conforman un substrato de mala calidad susceptible a ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa.
2. Por las condiciones geológicas actuales del terreno en el Anexo San Basilio, con presencia de hundimientos, deslizamientos, derrumbes y erosión de laderas, se considera inestable. Los terrenos de cultivo, viviendas, colegios, iglesias están siendo afectados, por lo tanto, se considera como una **Zona Crítica de muy alto peligro por movimientos en masa; estos sectores se encuentran en Peligro Inminente ante lluvias intensas o sismos de fuerte intensidad.**
3. Las causas principales para la ocurrencia de los movimientos en masa en la zona de estudio, son las intensas precipitaciones pluviales de la temporada, la litología fracturada y alterada, la pendiente (moderada), la infiltración de aguas superficiales, elaboración de zanjas de escorrentía sin tratamiento de impermeabilización y algunos otros sistemas de alcantarillado obstruidos y de poca capacidad.
4. El desarrollo de las dolinas identificadas (en campo y con fotografías aéreas) está fundamentalmente relacionada con la disolución del sulfato de calcio (yeso), y alteraciones provocadas en la topografía por prácticas agrícolas y malas técnicas de riego. La formación en los últimos años de varios colapsos demuestra la funcionalidad actual de los procesos de hundimientos en el sector San Basilio, donde la probabilidad de que se formen nuevas dolinas en un futuro próximo no es despreciable, poniendo en riesgo a la población e infraestructura.
5. La existencia de dolinas de colapso con volumen y profundidades elevadas, que afectan tanto a la cobertera detrítica del substrato, indican la existencia de sistemas de cavidades en el interior de substrato a las que desafortunadamente no se ha tenido acceso.

7. RECOMENDACIONES

1. En vista que los peligros geológicos identificados en el anexo San Basilio representan una amenaza para la vida y bienestar de sus pobladores; se recomienda evaluar el reasentamiento de la población afectada por este fenómeno. En el caso de que se lleve a cabo el reasentamiento de la población de San Basilio, el nuevo lugar de acogida debería ser analizado con detalle, realizando estudios complementarios (estudio de suelos y geofísicos) con la finalidad de conocer mejor las características geológicas y físicas del terreno.
2. Aplicar métodos de investigación geofísica con el fin de detectar la existencia de cavidades que no han llegado a manifestarse en superficie. El georadar permitiría

identificar vacíos con bastante precisión situados a escasa profundidad. La tomografía eléctrica, aunque de interpretación más compleja, puede ser utilizada para la prospección de cavidades a mayor profundidad. La microgravimetría también permitiría detectar vacíos dentro de unos rangos limitados de tamaño y profundidad.

3. Sensibilizar y capacitar a través de talleres dirigidos a los agricultores del centro poblado de San Basilio sobre el uso eficiente del agua, así como también sobre el peligro existente y la responsabilidad de asumir las medidas de prevención y mitigación indicadas.
4. Evitar la filtración de agua, proveniente de los terrenos de cultivo, esto se reduciría si se tecnifica el sistema de riego en zonas de cabecera de ladera y en terrenos de cultivo emplazados en laderas. Se recomienda cambiar el sistema de riego por gravedad a un sistema mejorado y tecnificado (goteo o aspersión).
5. Realizar la implementación de un sistema de drenaje mediante canales impermeabilizados y evitar la infiltración de aguas.
6. Elaborar un estudio hidrogeológico de la zona afectada.
7. Realizar las medidas correctivas apropiadas, para las zonas afectadas por movimientos en masa (tipo deslizamiento), considerar uno de los ejemplos mencionados en el informe u otro adecuado para reducir el riesgo.
8. Los trabajos deben ser dirigidos y ejecutados por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.
9. En las zonas que presentan hundimiento, por ningún motivo se deben realizar obras de infraestructura, no permitir el paso de personas ni de ganado.

8. BIBLIOGRAFIA

- Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre T aludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-107.
- Cooper, A.H (1998). Subsidence hazards caused by the dissolution of Permian gypsum in England: geology, investigation and remediation. En: Geohazards in Engineering Geology (Eds. J.G. Maund y M. Eddleston), Engineering Geology Special Publication 15, Geological Society, London, 265–275.
- Cruden, D.M. y Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, 36-75 p.
- Jenks, W. (1948). Geología de la Hoja de Arequipa, al 11200.000. Instituto Geologico dei Peril No. 9. 104 pp.
- Newell, N. D. (1949). Geology of the Lake Titicaca Region; Peru and Bolivia. Geol. Soc. Am. Memoir 36.
- Villota, H. (2005). Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos Y Zonificación de Tierras. Bogotá, Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. 183p.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

DESLIZAMIENTO: Movimiento que se produce al superarse la resistencia al corte de un material (suelo, roca o ambos), a lo largo de una o más superficies de ruptura, y donde la masa original se desliza a distancias variables.

DOLINA: Depresión geológica, característica de los relieves conocidos como kársticos, una forma de relieve generada por la meteorización química de ciertas rocas conformadas por minerales solubles en el agua, tales como la caliza, dolomía, yeso, etc.

EROSIÓN DE LADERA O CÁRCAVA: Zanja producto de la erosión que generalmente sigue la pendiente máxima del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas del suelo. Las cárcavas se inician cuando el suelo ha sido removido por el flujo superficial formando pequeños surcos considerado como zanjeado incipiente y a medida que aumenta el escurrimiento se forman pequeños canalillos que van creciendo en ancho y en profundidad hasta formar secciones transversales de diferentes formas que se agrandan con la presencia de las avenidas máximas.

HUAICO Y/O FLUJO DE DETRITOS: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. 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 8).

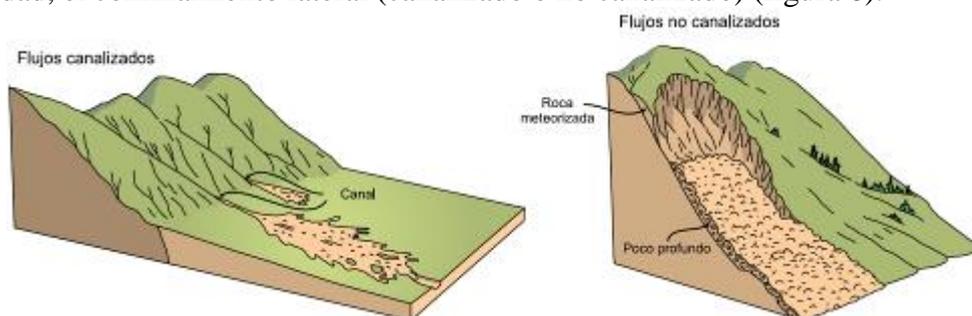


Figura 8. Esquema de flujos canalizado y no canalizados, según Cruden y Varnes (1996).

Los flujos de detritos, comúnmente conocidos como “huaicos”, son muy comunes en nuestro país debido a la configuración del relieve en el territorio, constituido por altas montañas, vertientes pronunciadas de valles con rocas y suelos deleznable o susceptibles de remoción con aguas de lluvia.

Generalmente las zonas afectadas son espacios delimitados por una microcuenca, subcuenca, quebrada o riachuelo, siendo los principales daños, los que se producen en el cono o abanico deyectivo, parte terminal del depósito de un cauce tributario a otro. Los daños que producen son considerables, por la gran energía y violenta aparición con que se presentan, destruyendo, arrasando o sepultando lo que encuentran en su paso, infraestructura urbana, vial, hidráulica y productiva agrícola.

MOVIMIENTO EN MASA: Proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una

ladera o talud (superficie inclinada) por acción de la gravedad. Corresponden a deslizamientos, flujos de detritos, derrumbes, etc.

PELIGRO: Probabilidad de que un fenómeno físico, potencialmente dañino, de origen natural o inducido por la acción humana, se presente en un lugar específico, con una cierta intensidad, en un periodo de tiempo y frecuencia definidos.

PELIGRO GEOLÓGICO: Proceso natural que puede causar daños materiales o la pérdida de vidas, la interrupción de actividades sociales y económicas, así como también la degradación ambiental.

ANEXO: LEVANTAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el levantamiento fotogramétrico en la zona de estudio se utilizó el dron Phantom 4 Pro (figura 9) equipado con la cámara DJI Phantom (20 megapíxeles). Así mismo, se ha capturado fotografías panorámicas y un video 4k.



Figura 9. Dron Phantom 4 Pro

En esta campaña de campo se capturó un total de 588 fotografías cubriendo aproximadamente 1.5 km² de terreno. El plan de vuelo se realizó con una altura promedio de 193 m y con un 60% de solape lateral y 75% de solape longitudinal, el cual nos proporciona una resolución del terreno de aproximadamente 5 cm/pix. En esta oportunidad, no se colocaron puntos de control terrestre.

Para el proceso fotogramétrico se utilizó la técnica SfM (structure from motion) (figura 10) a través del software AGISOFT PHOTOSCAN 1.2.5 obteniéndose en primera instancia una nube de puntos 3D dispersa y posteriormente una nube de puntos 3D densa. Finalmente se obtuvieron el modelo digital de elevaciones (DEM) (figura 11) y la ortofoto (figura 12) los cuales se exportaron en el formato TIFF para su utilización en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS/QGIS. Otro producto a partir del DEM fue el mapa de pendientes (Figura 13).

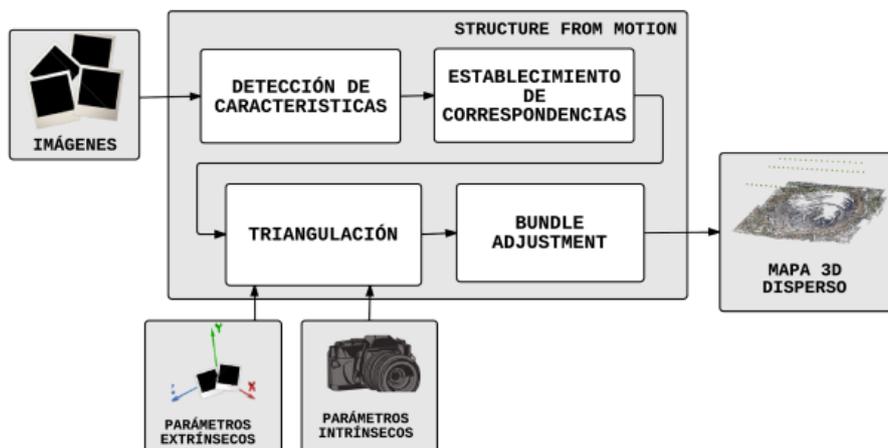


Figura 10. Esquema general de generación de mapas de nube de puntos dispersa (Structure from Motion).

Cabe resaltar que estos productos se encuentran a disposición de cualquier institución interesada.

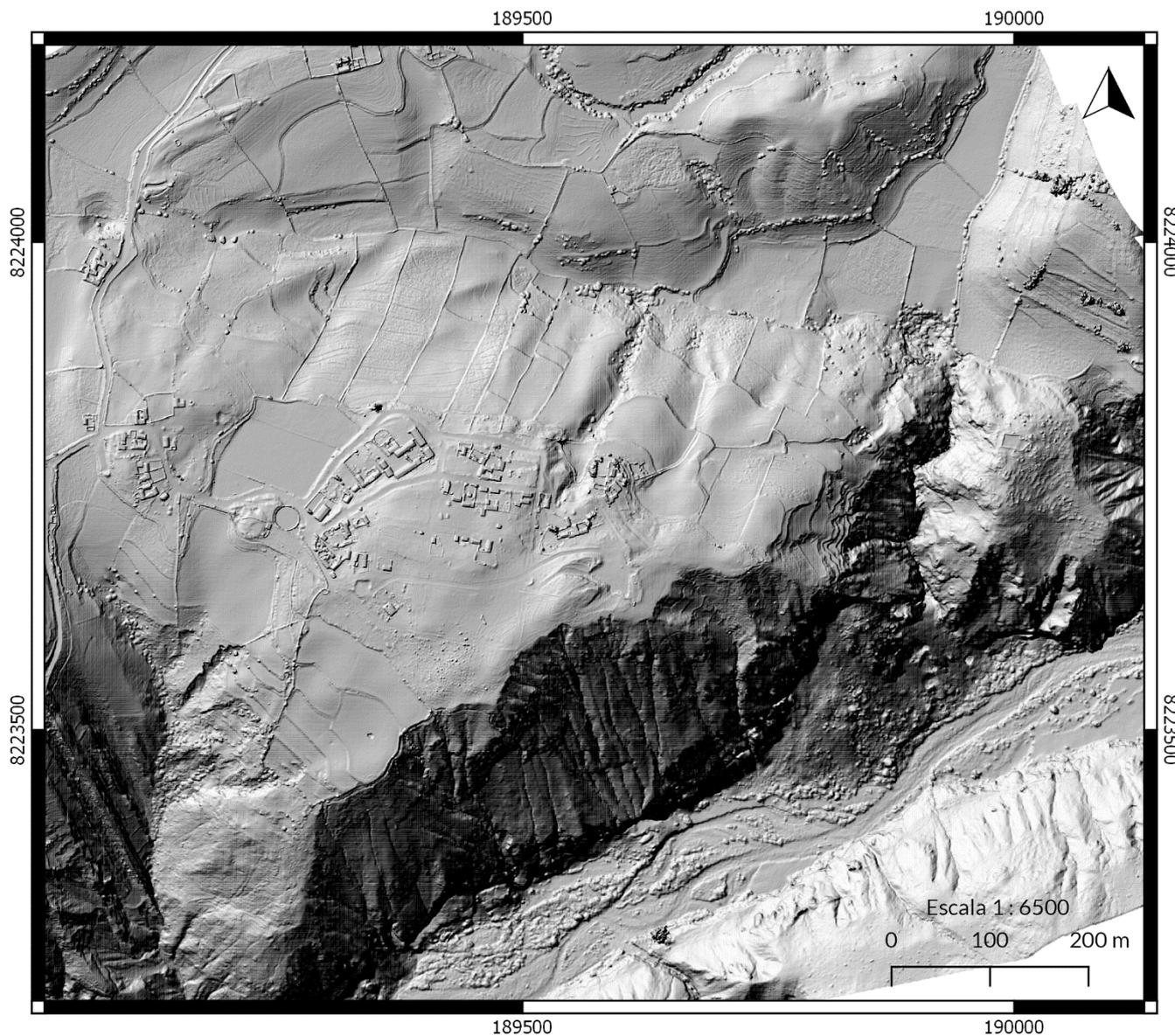


Figura 11. Modelo digital de elevaciones (DEM) de 10 cm/pix obtenido a partir de las fotografías capturadas con el dron Phantom 4 Pro, el 30 e octubre de 2018.

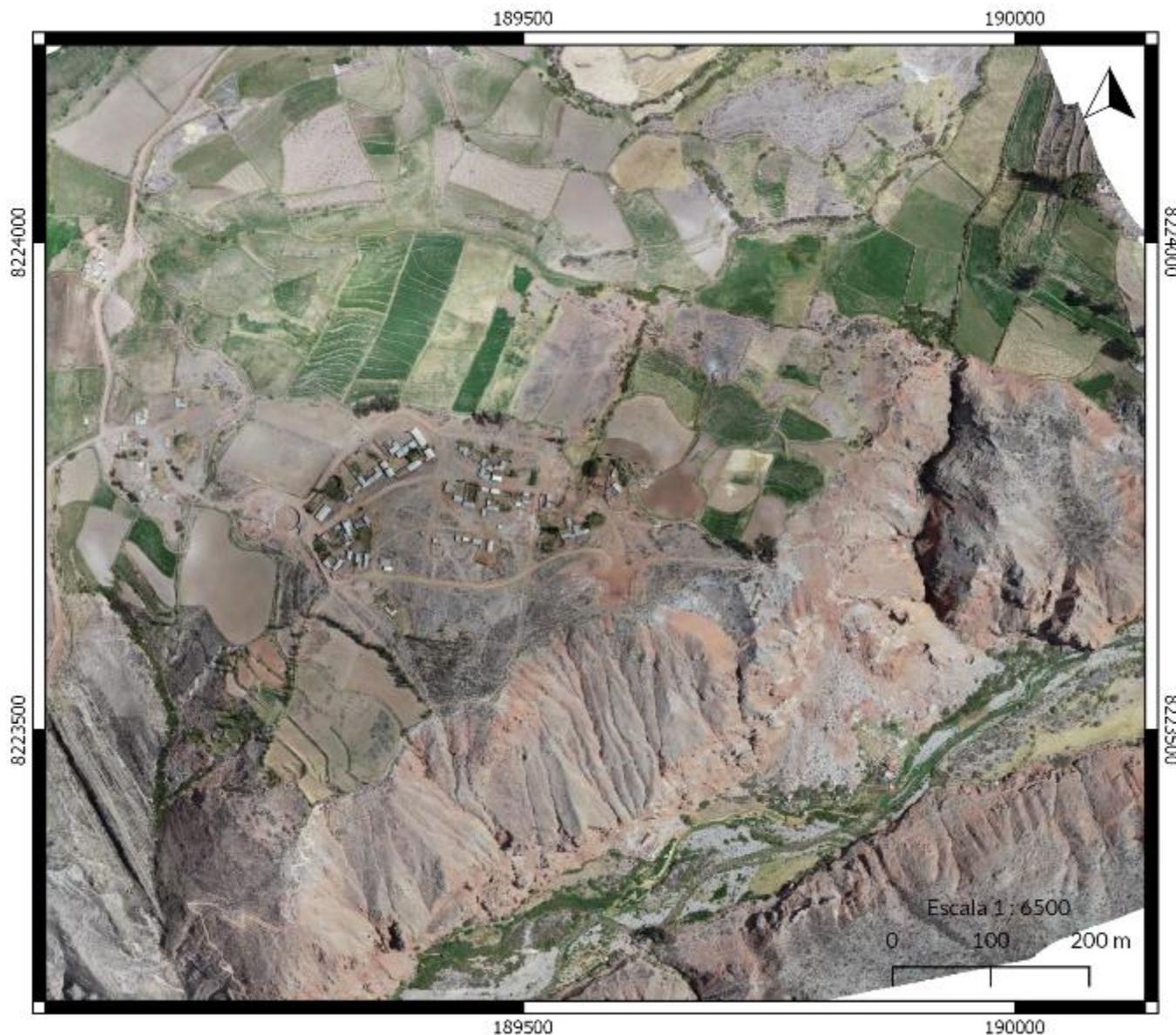


Figura 12. Ortofoto de 5 cm/pix obtenido a partir de las fotografías capturadas con el dron Phantom 4 Pro, el 30 e octubre de 2018.

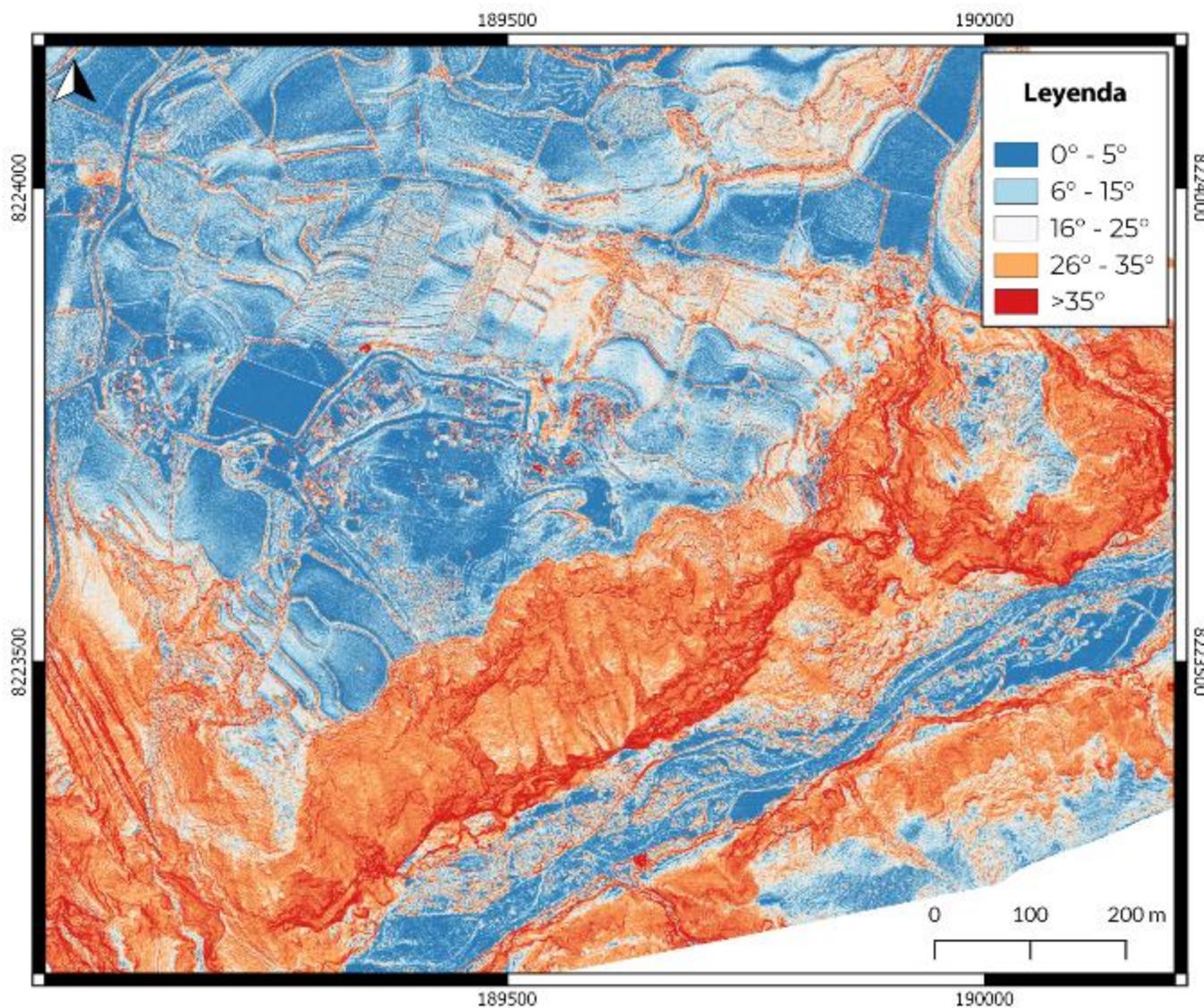


Figura 13. Mapa de pendientes del área de estudio generado a partir del modelo digital de elevaciones (DEM).