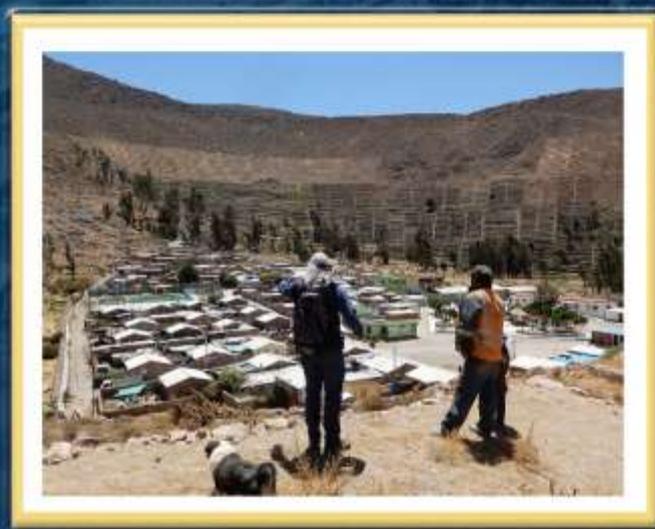
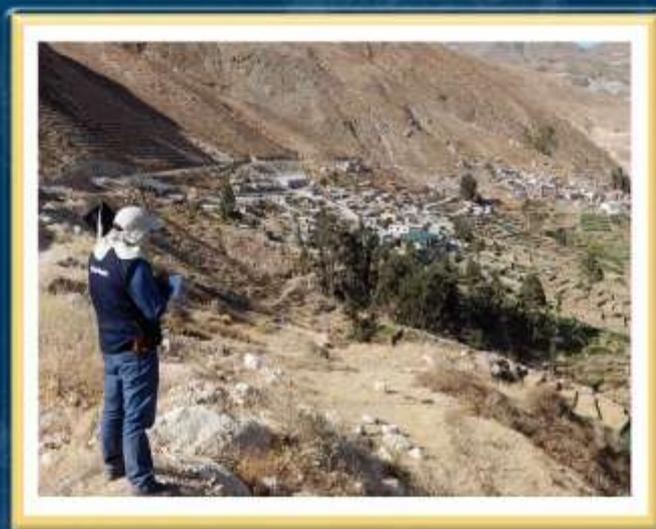


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7134

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS SECTORES CORAGUAYA Y BOROGUEÑA

Región Tacna
Provincia Jorge Basadre
Distrito Pabaya



MARZO
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LOS
SECTORES CORAGUAYA Y BOROGUEÑA.

DISTRITO DE ILABAYA, PROVINCIA JORGE BASABRE GROHMANN, REGIÓN TACNA.

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

Equipo de investigación:

Yhon Hidelver Soncco Calsina

Saida Blanca Japura Paredes

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores Coraguaya y Borogueña. Distrito de Ilabaya, provincia de Jorge Basadre Grohmann, región Tacna. Lima: INGEMMET, Informe Técnico. 37 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1 Ubicación	3
1.3.2 Accesibilidad	5
1.3.3 Clima	5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	5
2.1 Unidades lito estratigráficas	6
2.1.1 Formación Matalaque (Ki-ma)	6
2.1.2 Grupo Toquepala	7
2.1.3 Formación Huaylillas (Nm-hu).....	8
2.1.4 Depósito aluvial (Qh-al).....	8
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
3.1 Pendiente del terreno	9
3.2 Unidades geomorfológicas	9
3.2.1 Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional	9
4. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	10
4.1 Movimientos en masa en el sector Coraguaya.....	11
4.1.1 Deslizamiento	12
4.1.2 Caída de rocas	13
4.1.3 Flujos	15
4.1.4 Erosión de laderas en (cárcavas).....	15
4.2 Movimientos en masa en el sector Borogueña	16
4.2.1 Deslizamiento	18
4.2.2 Flujos	22
4.2.3 Caída de rocas y derrumbes	24
4.2.4 Erosión de laderas en (cárcavas).....	24
4.3 Factores condicionantes	26
4.4 Factores desencadenantes	26
5. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....	26
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29
8. BIBLIOGRAFÍA	30

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en la comunidad campesina de Coraguaya y el centro poblado de Borogueña, que pertenecen a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Ilabaya, Provincia de Jorge Basadre Grohmann, Región Tacna. 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 (Distrital, Regional y Nacional).

En el área de estudio afloran secuencias volcánicas tobáceas medianamente meteorizadas de la Formación Matalaque; secuencias volcánicas tobáceas del Grupo Toquepala, constituida por la Formación Quellaveco, tanto la unidad Inferior y la unidad superior, la primera constituida por tobas andesíticas, las cuales se presentan ligeramente meteorizadas y medianamente fracturadas, mientras que la unidad superior está conformada por secuencias de tobas, clastos y bloques en estratos delgados, las cuales se encuentran moderadamente meteorizadas y muy fracturadas. Además, afloran tobas líticas de la Formación Huaylillas, las cuales se presentan moderadamente soldadas, con superficies ligeramente meteorizadas y medianamente fracturadas. En el área también afloran depósitos aluviales no consolidados, conformados por acumulaciones detríticas de rocas volcánicas, las cuales provienen de las rocas subyacentes.

Las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio corresponden a montañas y colinas donde se tienen las siguientes subunidades: montaña en roca volcánica, montaña y colina en roca volcánica y ladera de montañas en rocas sedimentarias y superficie de flujo piroclástico. La unidad más susceptible a erosión de ladera es ladera de montañas en rocas sedimentarias.

Los peligros geológicos identificados en los sectores Coraguaya y Borogueña corresponden a deslizamientos, flujos de detritos, caída de rocas, avalancha de detritos, derrumbes. También se han identificado zonas con procesos de erosión de laderas (cárcavas) con desarrollo de ensanchamiento y profundización.

En Coraguaya, el fenómeno de mayor afectación a la comunidad campesina, es el deslizamiento antiguo, reactivado por sectores, sobre el cual está ubicada la zona urbana de Coraguaya. Los depósitos inconsolidados del deslizamiento y los cambios abruptos de las pendientes de las laderas, hacen la zona muy susceptible a la ocurrencia de movimiento en masas. Por lo tanto, es una zona crítica ante ocurrencia de lluvias intensas y sismo. En Borogueña, los dos fenómenos de mayor afectación son los flujos y deslizamientos, siendo la quebrada Tampuni la más activa por los flujos de detritos (huaicos) ocurridos en febrero del presente año. La zona urbana está ubicada sobre un deslizamiento secundario Ds1, el cual se extiende desde la quebrada Llustacahua hasta a quebrada Altamisa.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa son: pendiente del terreno que varía entre muy fuerte (25°- 45°) a muy escarpado (> 45°), rocas de mala calidad, conformadas principalmente por secuencias volcánicas tobáceas, meteorizadas y fracturadas. Además, en los sectores evaluados se aprecian suelos poco consolidados.

Se concluye que, el sector Coraguaya es considerada de **peligro Alto**; y el sector Borogueña de **Peligro Muy Alto**. Estos sectores pueden presentar desprendimiento y caída de rocas ante movimientos sísmicos y flujos de detritos, ante temporada de lluvias (octubre a marzo).

Finalmente, se brindan algunas recomendaciones como: la implementación de canales de regadío debidamente revestidos con concreto; además, abrir y canalizar el cauce de las quebradas en las zonas urbanas, en el deslizamiento Coraguaya y Borogueña; implementar un sistema de monitoreo instrumental temporal, para detectar algún movimiento en el cuerpo del deslizamiento. Estas son medidas que deben tomar en cuenta las autoridades competentes en el marco de la gestión de riesgo de desastre.

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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Ilabaya, según el oficio N° 044-2020-MDI/A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de movimientos en masa, que afectó a la comunidad campesina de Coraguaya y al centro poblado de Borogueña.

La dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico designó al ingeniero, Yhon Soncco, para la evaluación técnica respectiva. Los trabajos de campo se realizaron entre los días 21 y 22 de noviembre del 2020. Para los trabajos de campo se coordinó con el personal de Defensa Civil de la Municipalidad Distrital de Ilabaya.

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 y fotografías), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de las autoridades de la Municipalidad Distrital de Ilabaya, 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) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se presentan en la comunidad campesina de Coraguaya y en el centro poblado de Borogueña, eventos que pueden comprometer la seguridad física de los poblados, cultivos y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- a) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

- A) Informe Técnico N° A6896; “Evaluación de peligros geológicos de los sectores propuestos para la reubicación (Alto El Cairo; Nueva Borogueña y Pampa Cuchillas) del Centro Poblado Mirave. Región Tacna, provincia Jorge Basadre, distrito Ilabaya” El sector el Cairo está ubicado aguas debajo de los sectores evaluados en el presente informe técnico, en el mismo valle. En este informe reportan procesos de movimientos en masa, del tipo flujo de detritos (huaicos), y procesos de erosión de ladera en cárcavas.
- B) Informe técnico N° A7037; “Evaluación de peligros geológicos de las zonas propuestas para la reubicación del centro poblado Borogueña. Región Tacna, provincia Jorge Basadre, distrito de Ilabaya” El sector Nuevo Borogueña está ubicado en la parte alta de Borogueña. En este informe identificaron procesos de movimientos en masa, y procesos de erosión de ladera.
- C) Informe técnico, zonas críticas por peligros geológicos en la región Tacna. El Poblado de Borogueña es afectado por intensa erosión en cárcavas en laderas de los cerros Cotañane y Borogueña que en época de lluvias genera huaicos en margen derecha de la quebrada Borogueña, también es afectado por derrumbes debido al corte de carretera de acceso al estadio. Se ha colocado muro de gaviones transversales a la cárcava. El poblado Coraguaya se encuentra ubicado sobre el depósito de una avalancha de detritos antigua en laderas del cerro Cicuni. En caso de lluvias excepcionales pueden generar huaicos y afectar viviendas del poblado, o en caso de sismos pueden caer bloques suspendidos en las laderas.

1.3. Aspectos generales

1.3.1 Ubicación

Coraguaya y Borogueña se ubican a 28 km y 31 km al Sur del volcán Tutupaca respectivamente, se ubican dentro del distrito de Ilabaya, en la provincia Jorge Basadre, en la región Tacna (figuras 1 y 2); ubicada en la coordenada UTM (WGS84 – Zona 19S) siguiente.

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio

<i>COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL</i>				
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>
<i>Coraguaya</i>	348566.71	8089308.60	17°16'35.06"S	70°25'28.77"O
<i>Borogueña</i>	346779.36	8085003.17	17°18'54.67"S	70°26'30.36"O

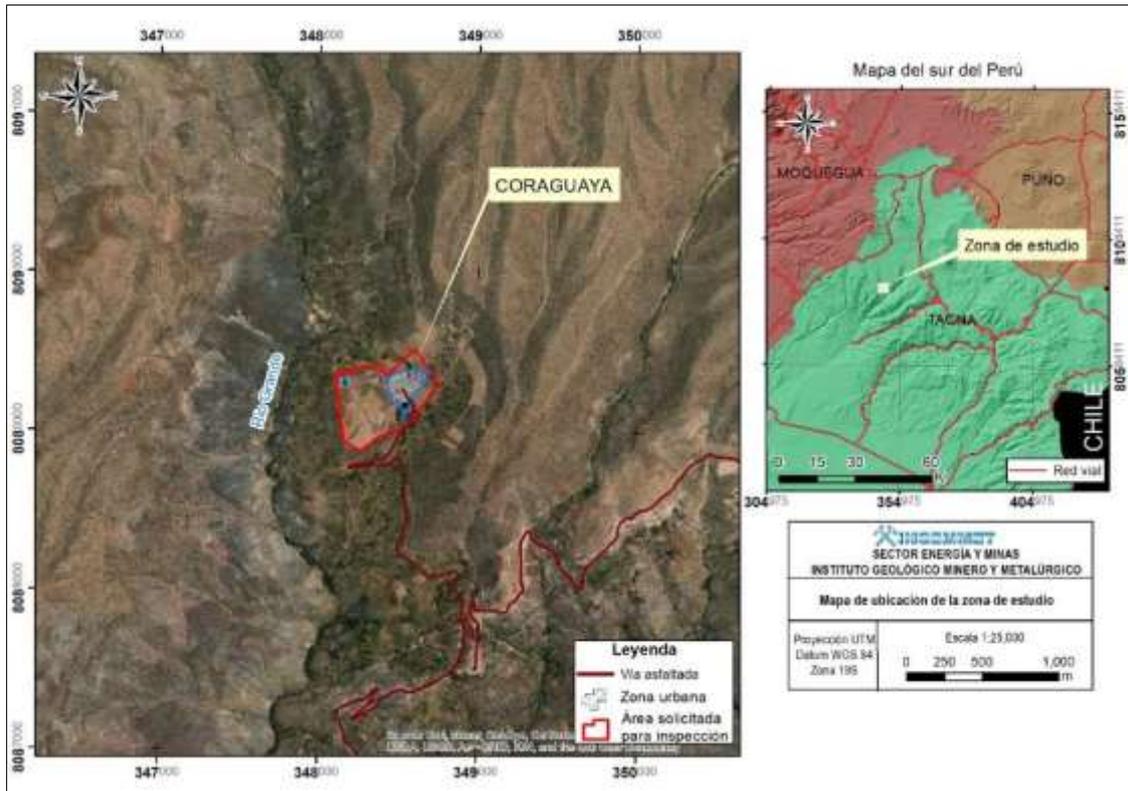


Figura 1. Mapa de ubicación de Coraguaya

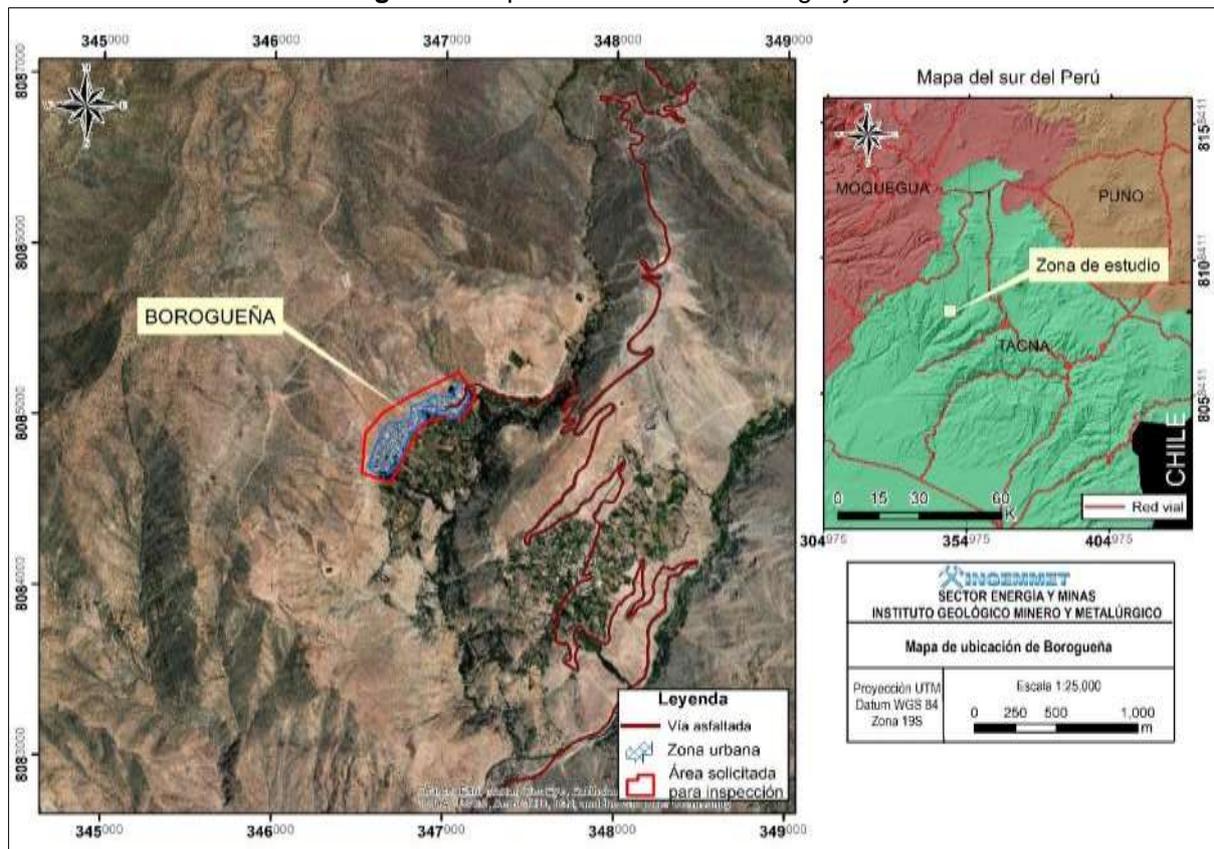


Figura 2. Mapa de ubicación de Borogueña

1.3.2 Accesibilidad

La zona es accesible vía terrestre desde Arequipa por la carretera Panamericana Sur hasta Tacna, desde donde inicia nuestro recorrido por la Panamericana Sur hasta Camiara, luego se toma el desvío mediante una vía asfaltada hasta Locumba, pasamos por Ilabaya y continuamos hasta Borogueña - Coraguaya (cuadro 2, y figuras 1, 2 y 3).

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia</i>	<i>tiempo estimado</i>
Tacna – Camiara (desvió Locumba)	Asfaltada	80.6 k	1h 01 min
Camiara (desvió Locumba) - Locumba	Asfaltada	12.8 k	15 min
Locumba - Ilabaya	Asfaltada	41.2 k	46 min
Ilabaya - Borogueña	Asfaltada	24.1k	31 min
Borogueña - Coraguaya	Asfaltada	33.9 k	25 min



Figura 3. Accesibilidad a las zonas de estudio (ruta Tacna – Borogueña - Coraguaya)

1.3.3 Clima

El Distrito de Ilabaya, es la zona con mayores bondades climatológicas, con calor solar durante todo el año, con ligeras lloviznas en los meses de enero a marzo, la temperatura promedio anual está entre 19 y 20 °C. Información obtenida de la estación meteorología Locumba del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización del Cuadrángulo de Tarata 35-v Jaen La Torre, H. (1965) y memoria explicativa de la revisión geológica cuadrángulo de Tarata (De La Cruz et al., 2001). En cuyo informe se

menciona afloramientos de depósito aluvial, circundado por laderas de rocas volcánicas del Mesozoico, conformadas por las Formaciones Matalaque y Quellaveco. Así como, secuencias volcánicas del Cenozoico conformada por la Formación Huaylillas (figura 3).

Unidad estructural

Al sur del sector Coraguaya y al norte del sector de Borogueña se identificó una falla normal denominada Micalaco con un rumbo de NO-SE y dirección de buzamiento de SO (Benavente et al., 2017). La falla Micalaco se ubica al norte del sistema de falla de Incapuquio, se emplaza a lo largo de 33 km, cruzando el cerro Yarito, la parte oeste de la mina Toquepala, cerro Cadete hasta llegar a Micalaco donde se divide en tres ramas antes de desaparecer. La falla es marcada por una serie de escarpas de 1.5 a 2 m en roca y depósitos aluviales. Las escarpas en depósitos aluviales son afectadas solo por los canales más recientes de la corriente, lo que sugiere un movimiento reciente (Fenton et al., 1995).

2.1 Unidades lito estratigráficas

A continuación, se describen las unidades litoestratigráficas que afloran en inmediaciones de las zonas evaluadas (figura 4).

2.1.1 Formación Matalaque (Ki-ma)

Está conformada por secuencias de rocas volcánicas tobáceas, se identificó sobre los ríos Curibaya, Sama, Ilabaya, y quebrada de Huanuara. La Formación Matalaque está compuesta de dos tipos de tobas; tobas líticas y tobas litocristalinas. Las tobas líticas afloran en el río Ilabaya, son masivas compactas y de color gris azulino (De la Cruz et al, 2000).

En la parte alta de la intersección del río Ilabaya y quebrada Huanuara, las tobas litocristalinas son compactas y contienen líticas, abundantes cristales de cuarzo, plagioclasa, líticos volcánicos afaníticos y escasos cristales de feldespato potásico, epidota. La edad Cretáceo Inferior ha sido establecida en función de sus relaciones estratigráficas con el techo de la formación que infrayace a rocas volcánicas del Grupo Toquepala del Cretáceo Superior, De la Cruz et al. (2000). Esta formación se encuentra a 0.5 km al Este del sector de Borogueña.

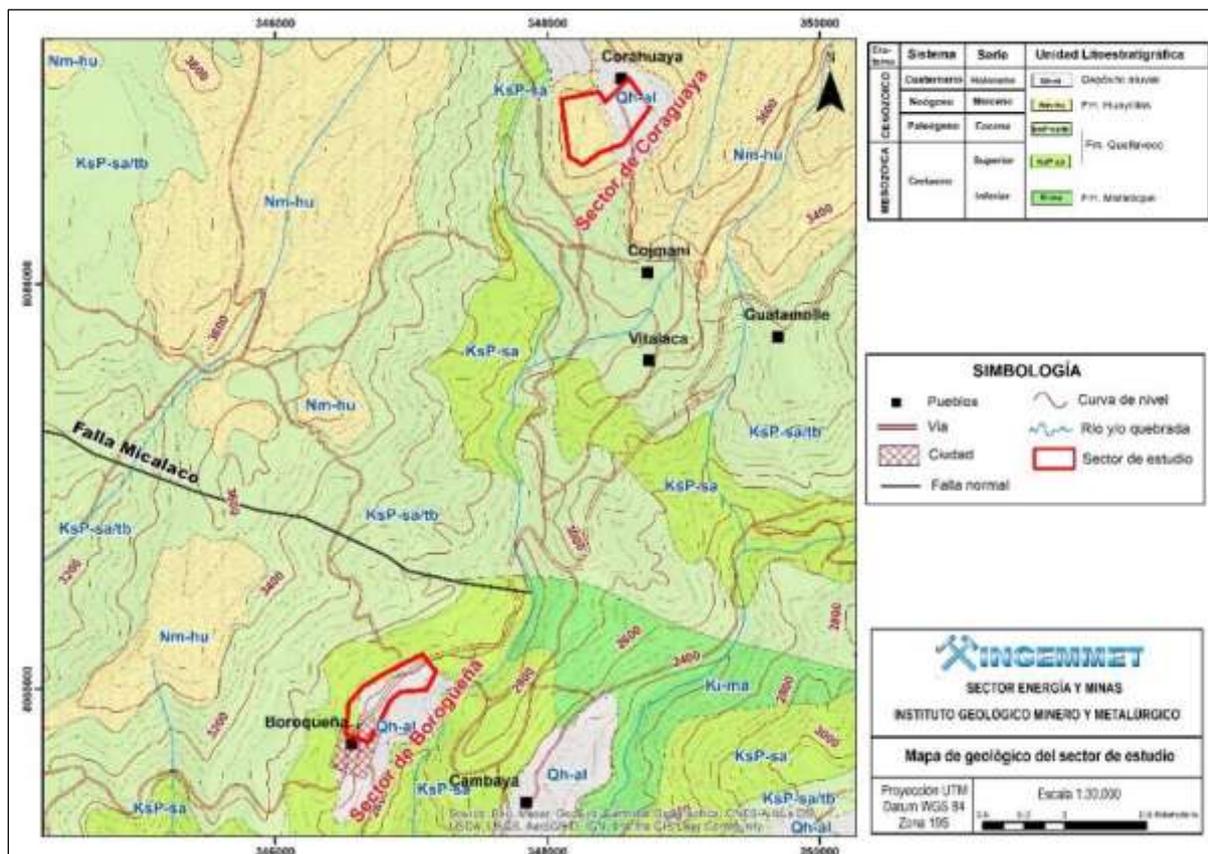


Figura 4. Mapa geológico del área de estudio.

2.1.2 Grupo Toquepala

Secuencia volcánica de la Formación Quellaveco, compuesto por unidades gruesas de tobas andesíticas y tobas líticas.

2.1.2.1 Formación Quellaveco

Formalizado como formación por W. Martinez (com. Pers), está constituida por varias unidades y las que afloran en el área son las unidades de tobas y andesitas Samanape.

Unidad Inferior (KsP-sa).

Secuencia volcánica de tobas andesíticas litoclásticas, toba de pómez lítica de afloramiento local, en las laderas del río Grande, en la parte baja de la comunidad campesina de Coraguaya y en inmediaciones de Borogueña, las tobas se encuentran ligeramente meteorizadas y poco fracturadas (figura 4).

El grosor de esta Unidad se calcula en 600 m en el cerro Huacuilcunca al este de Poquera Valle de Curibaya. Por sus relaciones estratigráficas que sobreyacen a rocas del Cretáceo Superior e infrayace a rocas del Cretáceo-Paleógeno su edad se considera también Cretáceo Superior-Paleógeno, aunque determinaciones radiométricas realizadas para esta Unidad en el cuadrángulo de Moquegua, en la mina Quellaveco (Zimmermann y Kihien 1983) reportan edades de 53.6 +3.0; 55 +1.10 y 56.2+ 2.10 Ma y en la mina Cuajone (Clark et.al., 1990) reportan 52.3 +1.6; 52.43+ 1.7 Ma los sugieren una edad Paleógena para esta Unidad.

Unidad Superior (KsP-sa/tb)

Secuencia de tobas de clastos y bloques en estratos más delgados que la unidad Inferior, en Coraguaya muchas de las tobas piroclásticas son de color violáceo a rojizo conteniendo entre otros minerales epidota, hay estratos nodulosos con epidota, piroclastos de grano fino bien argilizados. Se evidencia una moderada meteorización, además se presentan medianamente fracturadas (figura 4).

Los piroclastos soportan fragmentos lávicos parcialmente desvitrificados y argilizados con inclusiones de calcedonia, minerales oscuro verdosos. Su relación con la base es discordante asentándose sobre la Unidad Inferior de andesitas e infrayace a la Formación Tarata (miembro Inferior) alcanzando un grosor de 350 m al Norte de Boroguña. La edad en base a su posición estratigráfica permite asignarla al Cretáceo Superior-Paleógeno.

2.1.3 Formación Huaylillas (Nm-hu)

Flujo de tobas líticas, piroclastos de arena y ceniza moderadamente soldadas, afloramiento bien expuesto formando superficie semiplana y acantilados en el corte de los ríos. Aflora en la comunidad campesina de Coraguaya. Presentan coloraciones rosáceas localmente presentan estructuras de fiame de los pómez y obsidianas impuras mezcladas con las tobas confundidas en la masa, las tobas fuertemente soldadas son nodulosas, cavernosas y con huellas de acumulación de gases hacia arriba tobas de ceniza medianamente sueltas con abundante biotita. Las tobas de ceniza masivas y sueltas contienen 20% de líticos volcánicos de 10 cm en promedio subangulosos a subredondeados, hacia arriba la formación culmina con una gruesa secuencia monótona de tobas de ceniza con pomez medianamente soldados; localmente sobre ella se encuentran tobas de ceniza blanquecina biotítica con muy escasos líticos rojizos afaníticos.

El grosor mejor expuesto se encuentra en el valle de Camilaca. En esta vasta extensión algunas muestras analizadas por Jaen. H., 1965, muestran un quimismo más riolítico que andesítico Jaen. H., 1962. La edad de la formación debido a que es volcánica tobácea, se le atribuye al Mioceno Inferior mediante determinaciones radiométricas hechas en la carretera del cerro Vilachacha. Utilizando el método K-Ar la edad determinada es 18.43 ± 0.41 Ma en; Pallata. Al norte de Pallata usando en método K-Ar, K-B (Tosdal, et al 1981) e Ingemmet & Electroperu en 1994 reportan 21.5 ± 0.7 Ma y 21.5 ± 0.7 Ma respectivamente Al este de Susapaya Ingemmet & Electroperu en 1994 mediante el método K-B reporta la edad de 22.03 ± 0.51 Ma. Esta unidad se encuentra rodeando al sector de Coraguaya y al Este del sector de Boroguña.

2.1.4 Depósito aluvial (Qh-al)

Están constituidas por dos tipos de depósitos la primera de ellas son todas aquellas acumulaciones detríticas que se encuentran cubriendo en capas delgadas no cartografiables, conformado por rocas volcánicas. El otro grupo está dado por los depósitos de bloques subredondeados, con poca matriz, expuestos en el fondo de los valles formando terrazas, o el mismo fondo de valle, acumuladas por acción de las aguas o formando abanicos aluviales en la desembocadura de las quebradas como ocurre en las dos quebradas ubicadas en la parte alta de la zona urbana de Coraguaya y en la parte baja de Boroguña (figura 4).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Las zonas evaluadas se encuentran sobre geoformas de carácter depositacional y denudacional, las que son descritas a continuación (figura 5).

3.1 Pendiente del terreno

Los rangos de pendiente varían de rangos de terrenos llanos a inclinados suavemente (1°-5°), con un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°) en la base y zona media del acantilado, a pendiente muy fuerte (25°-45°) en la parte alta del acantilado, para nuevamente cambiar a un terreno con suave pendiente correspondiente a la planicie aluvial.

3.2 Unidades geomorfológicas

El área de estudio se encuentra por encima de los 3500 m s.n.m. con vertientes montañosas elevadas y abruptas. La zona presenta desnivel o vertiente muy disectada o erosionada.

3.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

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 las siguientes unidades.

3.2.1.1 Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular.

Subunidad de montaña en rocas volcánica (RM-rv): Corresponde a productos o emanaciones volcánicas antiguas, que por los procesos de erosión y denudación no muestran las geoformas o paisajes originales, sino superficies o laderas disectadas que en función a su altura forman montañas (Zavala et al., 2019). Se presenta hacia al Sur de la zona de estudio, en inmediaciones de Borogueña.

Subunidad de montaña y colina en roca volcánica (RMC-rv): Corresponde a productos o emanaciones volcánicas antiguas, que por los procesos de erosión y denudación no muestran las geoformas o paisajes originales, sino superficies o laderas disectadas que en función a su altura forman montañas (Zavala et al., 2019). Litológicamente está compuesta por toba Samanape cristalolítica y brechada, silicificada de la Formación Quellaveco. Esta geoforma se presenta al Noroeste de la zona evaluada.

Subunidad de ladera de montañas en rocas sedimentarias (LM-rs): Están conformadas por laderas y montañas que han sido modeladas, están constituidas por acumulaciones de detritos de rocas volcánicas en forma de capas delgadas. Esta subunidad se ubica dentro del sector de Coraguaya.

3.2.1.2 Unidad volcánica

Son geoformas asociadas a depósitos volcánicos.

Subunidad de superficie de flujo piroclástico (Sfp): Son relieves altoandinos levemente inclinados con frentes escarpados, compuestos por ignimbritas o asociados a calderas volcánicas, depositadas lejos de su centro u origen. La superficie en las cimas generalmente es plana, ligeramente inclinada y algo redondeada por erosión. Las paredes o vertientes en las mesetas tienen pendiente moderada a abrupta. A diferencia de las mesetas volcánicas lávicas, presentan mayor erosión y una cobertura de suelo arenoso originada por la meteorización de las rocas, principalmente, de procesos físicos (Zavala et al., 2019). El sector Coraguaya se ubica sobre esta subunidad.

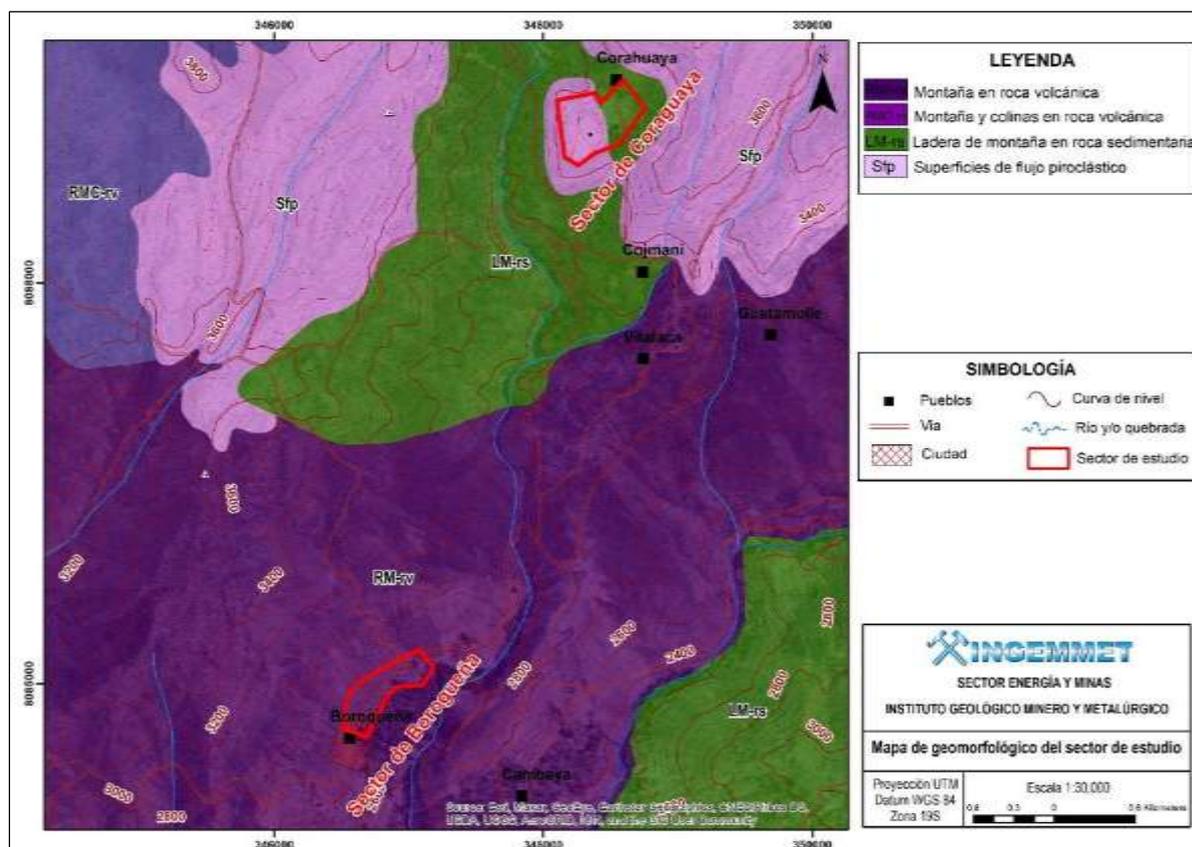


Figura 5. Mapa geomorfológico del área de estudio. (Tomado del mapa geomorfológico a escala 250,000 del INGGEMMET)

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo (deslizamientos, flujos y caída de rocas) (PMA: GCA, 2007). Ver Anexo 1. Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como, la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, 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 (calidad de la roca y permeabilidad), el tipo de suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal.

En el área de estudio, los movimientos en masa, están estrechamente ligados a factores desencadenantes como lluvias de gran intensidad o gran duración asociadas a eventos excepcionales y sismos tectónicos.

4.1 Movimientos en masa en el sector Coraguaya

En la comunidad campesina Coraguaya (figura 6), los procesos de movimientos en masa están localizados en la parte alta de la zona urbana; donde se puede identificar un escarpe de un deslizamiento antiguo, también se pueden identificar dos quebradas con depósitos de flujos y zonas de caída de rocas. Asimismo, se pueden identificar abundante erosión de ladera en (cárcavas), en la margen derecha del río Grande ubicado en la parte baja de Coraguaya (figura 7).



Figura 6. Comunidad campesina de Coraguaya, (coordenadas UTM E: 348812, N: 8089672).

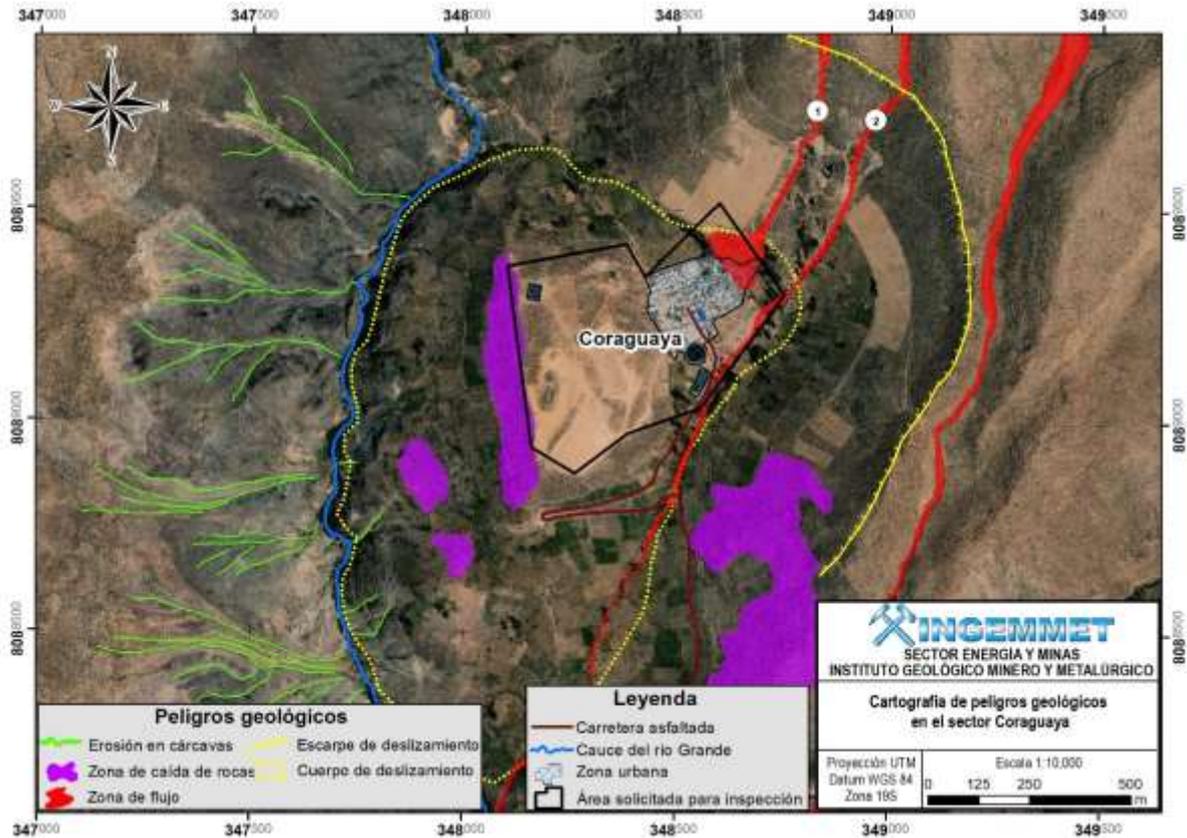


Figura 7. Cartografía de peligros geológicos en el sector Coraguaya

4.1.1 Deslizamiento

En la parte alta de la zona urbana de la comunidad campesina de Coraguaya, se evidencia una depresión con forma de herradura correspondiente a un deslizamiento antiguo en la zona. Se trata de un deslizamiento tipo rotacional; la corona del deslizamiento posee forma irregular y mide 1700 m, el salto del escarpe del deslizamiento tiene 300 m, este evento está comprendido entre las cotas 3753 m s.n.m. a 3100 m s.n.m., es decir posee un desnivel de 653 m. La masa se movilizó en dirección Suroeste hacia el río Grande (figuras 8 y 9).



Figura 8. Escarpe de deslizamientos antiguos en el sector Coraguaya

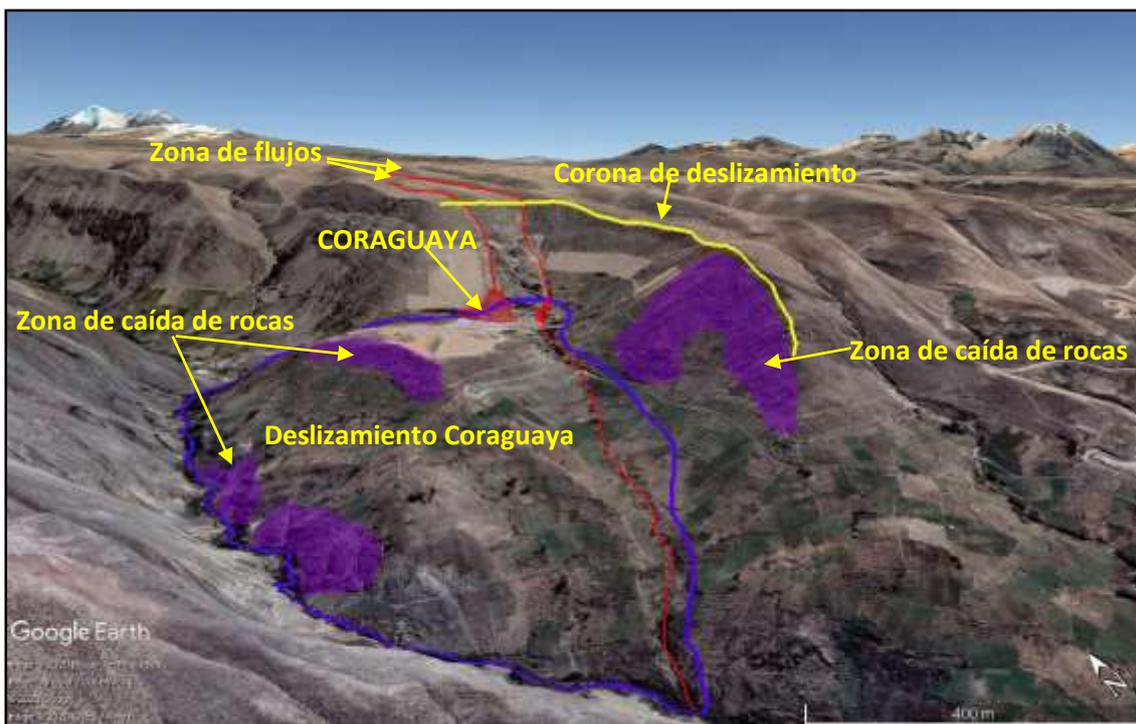


Figura 9. Deslizamiento Coraguaya.

4.1.2 Caída de rocas

En el sector de Coraguaya, el arranque de la caída de rocas se encuentra en escarpes de moderada a alto pendiente, entre 25° hasta 45°.

La roca se encuentra poco a medianamente fracturada, por lo que en la zona de caída de rocas se tienen bloques de entre 0.20 a 4 m de diámetro, mostrando un GSI entre 55 – 65 (Tabla N°3).

En el mapa de cartografía de peligros geológicos de la zona evaluada, se puede observar que la caída de rocas ocurre en las laderas al Sur y Suroeste de la zona urbana de Coraguaya (figura 10).



Figura 10. Se evidencia bloques caídos sobre la zona agrícola de Coraguaya, (coordenadas UTM E: 348114, N: 8089274).

4.1.3 Flujos

En la parte alta de la zona urbana de Coraguaya se aprecian dos quebradas (figura 11a), en los cuales se han encontrado depósitos de flujos antiguos. En la actualidad, la quebrada 1 no tiene un cauce definido al entra a la zona urbana de Coraguaya (según manifestaciones de los pobladores, en enero del presente año, esta quebrada se activó, los flujos se canalizaron por la calle ubicada a un costado de la losa deportiva de Coraguaya.

En la parte media-baja de la quebrada 1, el cauce está colmatado de bloques, los cuales varían desde centímetros a metros (figura 11b). Ambas quebradas presentan gaviones, diques transversales, muchos de ellos al momento de la inspección se encuentran totalmente colmatados (figura 11c y 11d).

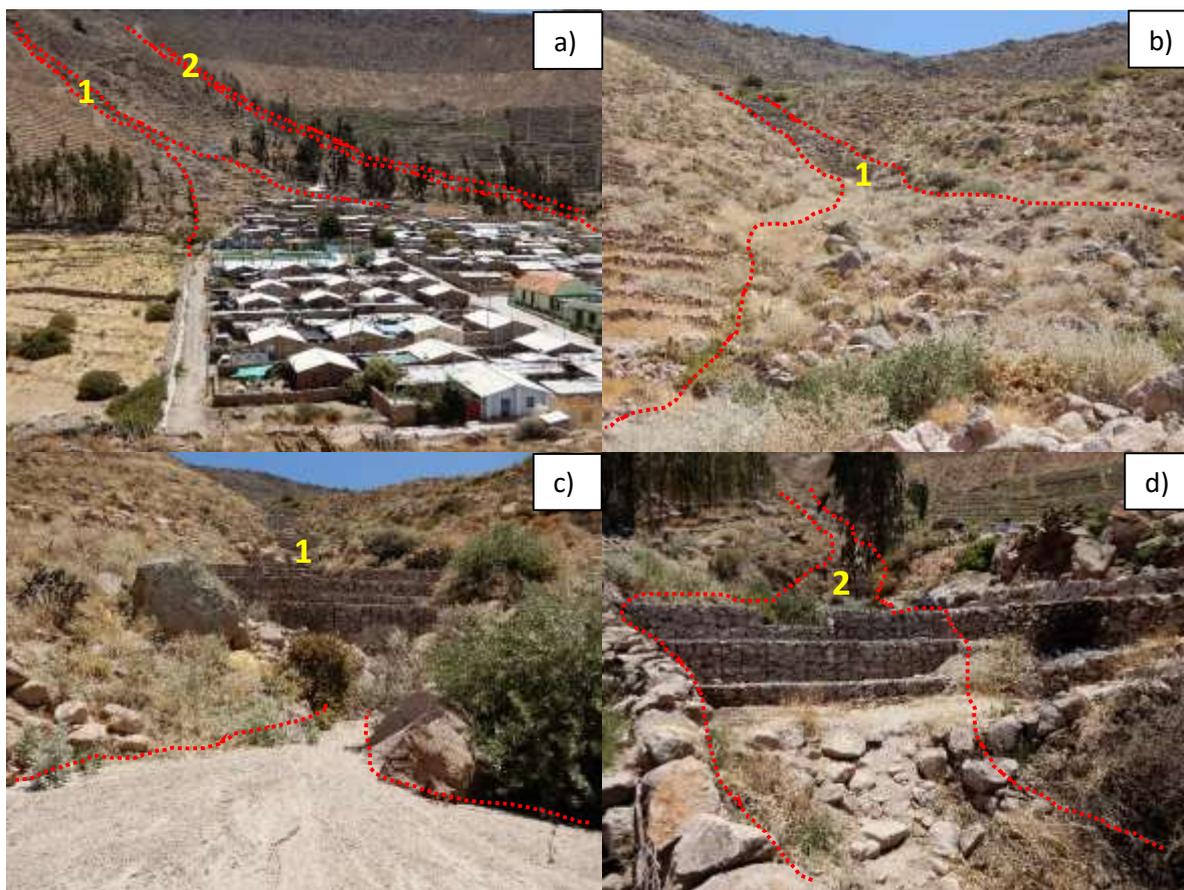


Figura 11. Muestra en a, b, c y d) las zonas de flujos en la comunidad campesina de Coraguaya

4.1.4 Erosión de laderas en (cárcavas)

En el sector Coraguaya se tienen principalmente litología fácil de erosionar, conformados por secuencia de tobas, con evidencia una moderada meteorización, además se presentan medianamente fracturadas. En época de lluvias intensas estos materiales son afectados por erosión de ladera (figura 12). Se ha evidenciado cárcavas que tienen anchos máximos de 4 a 5 m y profundidades de 5 a 7 m. El material erosionado aporta material suelto a las quebradas, contribuyendo a la generación de flujos.



Figura 12. Cárcavas en las laderas de la margen derecha del río Grande, (coordenadas UTM E: 348114, N: 8089274).

4.2 Movimientos en masa en el sector Borogueña

El centro poblado de Borogueña está ubicado al pie de un deslizamiento (figuras 13 y 14). Durante la inspección de campo en los alrededores, se han identificado, peligros geológicos por movimientos en masa que comprenden, deslizamientos, flujos, caída de rocas. También se han identificado zonas con procesos de erosión de laderas (cárcavas) con desarrollo de ensanchamiento y profundización. En el presente informe presentaremos una cartografía de peligros geológicos en base a los datos obtenidos durante las últimas campañas al sector Borogueña. El mapa de cartografiado de peligros geológicos de la figura 14, se complementa con el mapa de la figura 26.



Figura 13. Centro poblado de Borogueña, (coordenadas UTM E: 346552, N: 8084405).

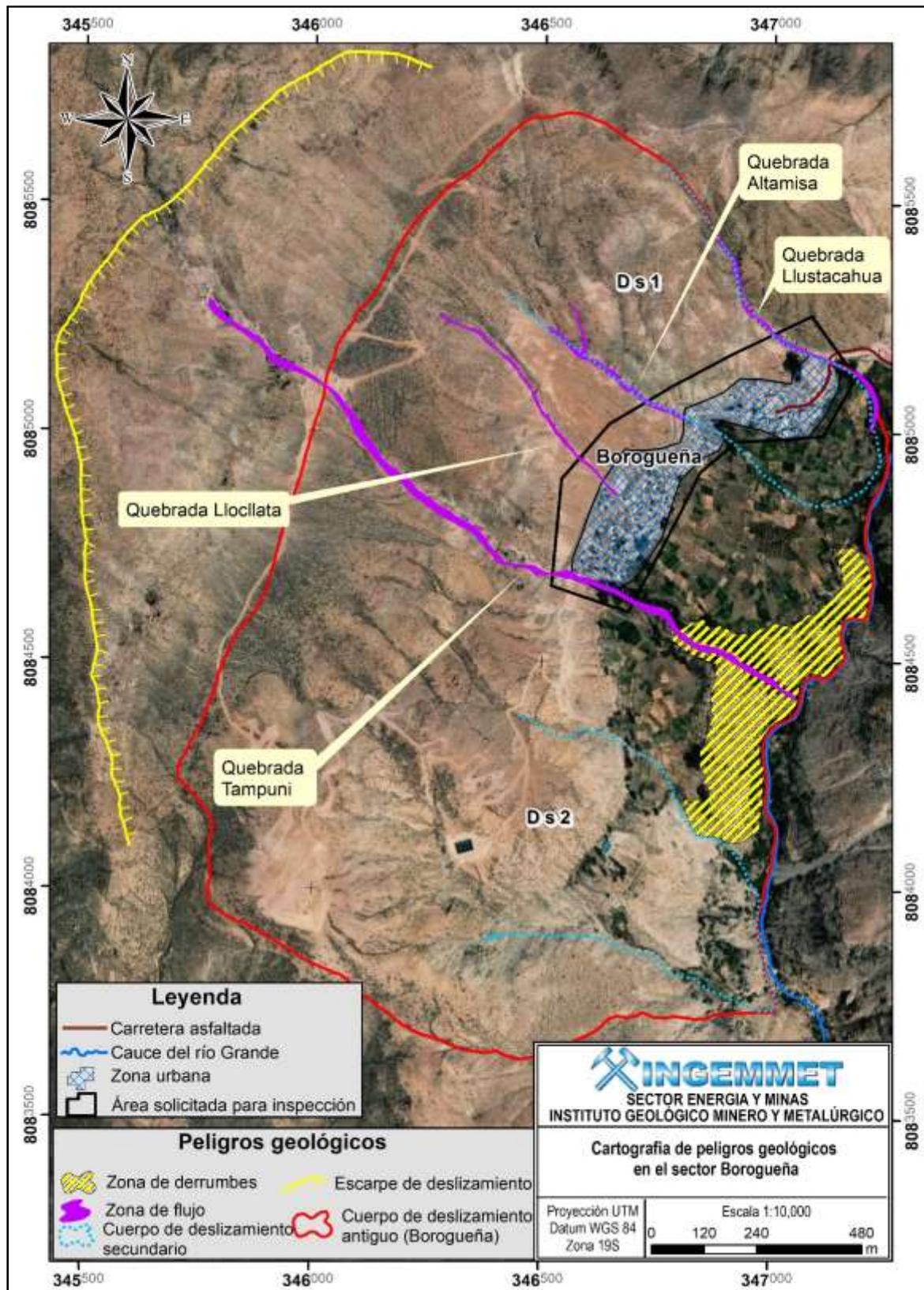


Figura 14. Cartografiado de peligros geológicos en el sector Borogüeña, el cual se complementa con el mapa de la figura 26.

4.2.1 Deslizamiento

En la zona evaluada, mediante imágenes satelitales se identifica un deslizamiento antiguo denominado deslizamiento Borogueña, el cual se trata de un deslizamiento tipo rotacional; la corona del deslizamiento posee forma irregular y mide 2.25 kilómetros, el salto del escarpe del deslizamiento tiene 400 metros de alto, este evento está comprendido entre las cotas 3525 m s.n.m. a 2563 m s.n.m. es decir posee un desnivel de 962 m. La masa se movilizó en dirección Suroeste hacia el río Grande (figuras 15, 16 y 17).

Al igual que el deslizamiento de Aricota; el deslizamiento de Borogueña está ubicado a aproximadamente, 10 kilómetros de la falla regional Incaquiquio (figura 15). Para el caso del deslizamiento Aricota (Delgado. G., et al 2016) sugiere que esta falla pudo generar sismos locales de $M_w > 7$ que podrían haber desencadenado el movimiento del deslizamiento de Aricota. Como ejemplo de tal proceso, menciona el evento de Usoy/Sarez (Pamir, Tajikistan) donde un sismo cortical de $M_w \sim 7.7$ generó el deslizamiento que movilizó una masa de $\sim 2 \text{ km}^3$ (Ambraseys & Bilham, 2012). Empleando la misma idea, el deslizamiento Borogueña pudo haberse generado por sismos originado en la falla regional Incaquiquio.



Figura 15. Deslizamiento Borogueña.



Figura 16. Ubicación de los deslizamientos Borogueña y Aricota, respecto a la falla Incaquiquio.



Figura 17. Deslizamiento Borogueña, (coordenadas UTM E: 346556, N: 8084639)

El centro poblado de Borogueña está ubicado al pie de una serie de deslizamientos secundarios, los cuales se desarrollan en el cuerpo del antiguo deslizamiento Borogueña.

La zona posee una litología fácil de removilizar, con un substrato desplazado, con materiales sueltos, provenientes del deslizamiento antiguo en el sector; conformado por el Grupo Toquepala, y su unidad Formación Quellaveco, tanto el miembro Inferior (**KsP-sa**), de rocas volcánicas y tobas andesíticas y el miembro Superior (**KsP-sa/tb**), conformada por tobas de clastos y bloques. Al tope de la secuencia se aprecian rocas de la Formación Huaylillas, conformadas por tobas líticas, flujos piroclásticos de pómez y cenizas, las cuales se encuentran moderadamente meteorizadas.

El deslizamiento secundario codificado como Ds1, se presenta como parte de los depósitos sobre la cual está ubicada la zona urbana de Borogueña, (figura 18). El cual corresponde a un deslizamiento compuesto, la corona y el escarpe del deslizamiento no se observan claramente, debido a la erosión que afecta sus laderas. Pero se puede distinguir el cuerpo del deslizamiento. La masa se movilizó en dirección Sureste hacia el cauce del río Grande que cruza la parte baja de Borogueña.

En la quebrada Llustacahua se evidencia el avance del deslizamiento Ds1, esta quebrada se formó en el contacto entre los depósitos removilizados del deslizamiento, y las rocas del sustrato antiguo. En la evaluación de campo, se pudo apreciar que la margen derecha de la quebrada Llustacahua está siendo afectado por el empuje constante del cuerpo del deslizamiento Ds1 (figura 19).

El deslizamiento Ds1 se extiende hasta la quebrada Altamisa (figura 20) en la margen izquierda de la quebrada se pueden observar bloques fracturados sobre la zona de compresión del cuerpo del deslizamiento.



Figura 18. Quebrada Llustacahua, contacto del deslizamiento Ds1 con rocas antiguas, (coordenadas UTM E: 346933, N: 8085303)

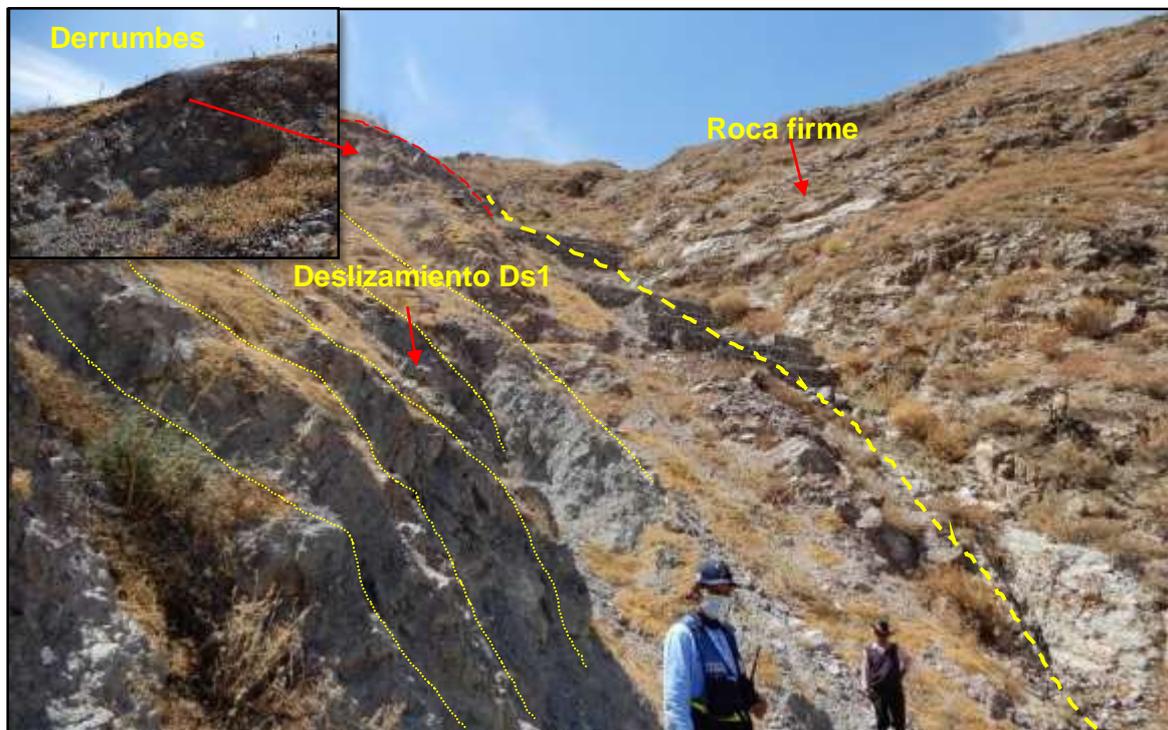


Figura 19. Derrumbes y grietas tensionales en el contacto del deslizamiento Ds1 en la quebrada Llustacahua, (coordenadas UTM E: 346936, N: 8085264)

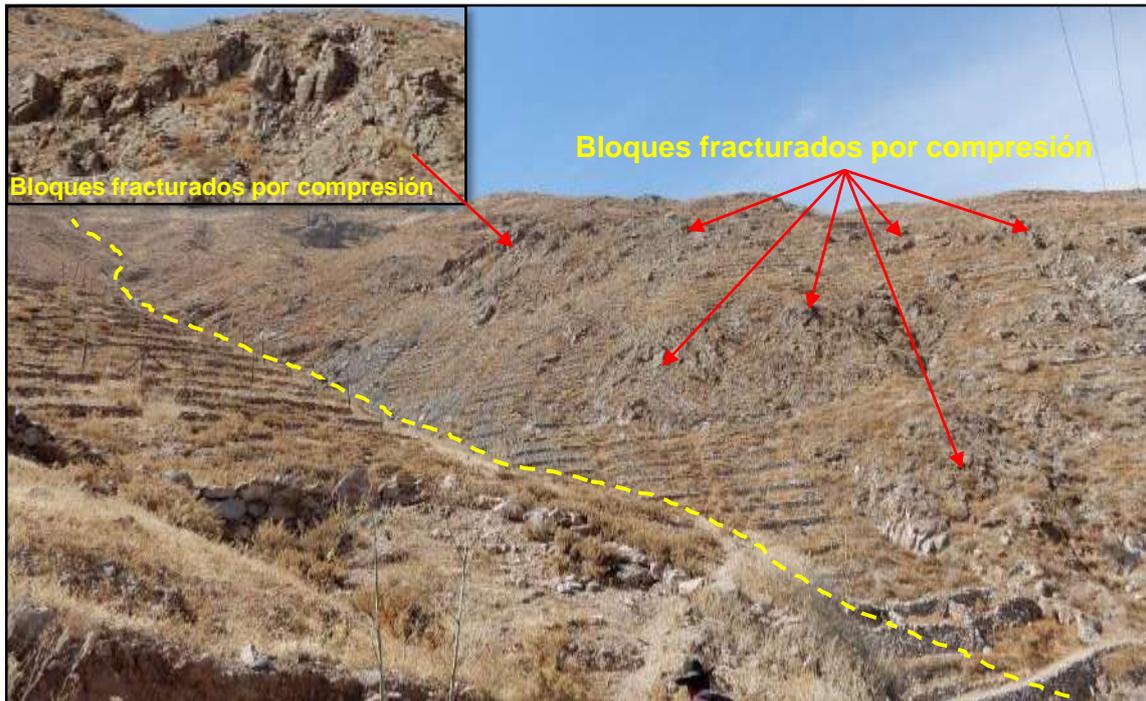


Figura 20. Quebrada Altamisa, en la margen, izquierda se aprecia el deslizamiento Ds1, en la cual se observan bloques fracturados sobre la zona de compresión del cuerpo del deslizamiento, (coordenadas UTM E: 346678, N: 8085078)

Ds2, Corresponde a un deslizamiento compuesto, la corona y el escarpe del deslizamiento no se observa claramente, debido a la erosión que afecta sus laderas, mediante imágenes satelitales se puede distinguir el cuerpo del deslizamiento, la misma que se movilizó en dirección Sureste, hacia el cauce del río Grande que pasa por la parte baja. El acceso al Ds2 es complicado, debido a las fuertes pendientes de las laderas, las cuales llegan hasta 50°.



Figura 21. Deslizamiento Ds1 y Ds2, en el centro poblado Borogueña.

4.2.2 Flujos

En el centro poblado de Borogueña se han identificado 4 quebradas donde se puede observar depósitos de flujos de detritos (huaicos), los cuales son: la quebrada Llustacahua, la quebrada Altamisa, la quebrada Lloctata y la quebrada Tampuni, siendo esta última la quebrada más afectada por los flujos de detritos (huaicos) ocurridos en febrero del presente año. Según las imágenes satelitales la quebrada Tampuni es la más extensa.

En la quebrada Llustacahua, los flujos de detritos (huaicos) han colmatado los gaviones (diques transversales al cauce de la quebrada, formadas por un armazón de alambre rellenas de rocas), algunos de ellos al momento de la evaluación de campo se encuentran colmatados (figura 22).

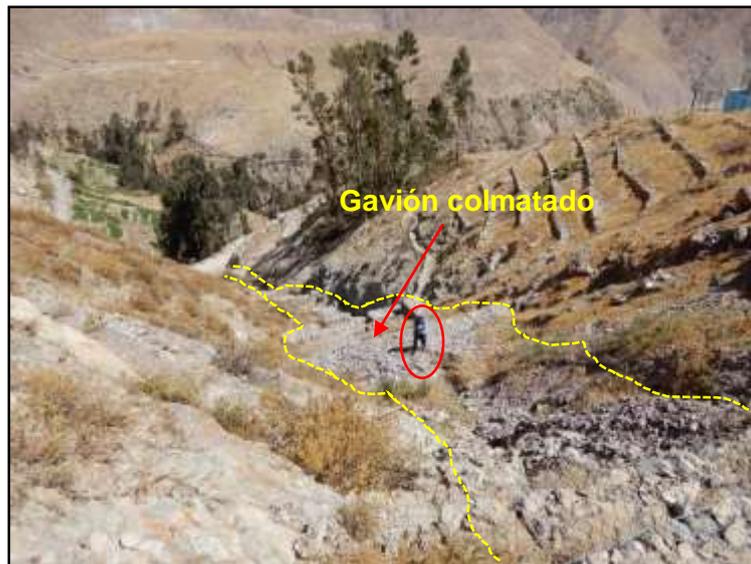


Figura 22. Depósitos de flujo de detritos (huaicos) en la quebrada Llustacahua, (coordenadas UTM E: 347006, N: 8085206)

En la quebrada Altamisa, los flujos de detritos (huaicos) han colmatado los gaviones (diques transversales al cauce de la quebrada, formadas por un armazón de alambre rellenas de rocas), algunos de ellos al momento de la inspección de campo se encuentran colmatados (figura 23).



Figura 23. Flujos en la quebrada Altamisa, (coordenadas UTM E: 346621, N: 8085141)

En la quebrada Lloctata, se evidencia una zona amplia de depósitos de flujos de detritos (huaicos), el cauce actual de la quebrada está canalizado por gaviones (según testimonio de los pobladores, en febrero del presente año descendió flujos por esta quebrada, el cual afectó infraestructura ubicada en la parte baja). Esta quebrada no tiene un cauce definido al entrar a la zona urbana de Borogueña (figura 24).



Figura 24. Diques transversales y canalización de cauce con muros laterales escalonados de gaviones en la Quebrada Lloctata, (coordenadas UTM E: 346633, N: 8084886)

La quebrada Tampuni fue la más afectada por los flujos de detritos (huaicos) ocurridos en febrero del presente año, durante la evaluación de campo se encontró gaviones totalmente destruidos, el cauce posee abundante material, desde limos hasta bloques métricos (figura 25)

El flujo durante su trayectoria afectó un baden ubicado en la carretera que pasas por el sector, actualmente el baden está colgado, tiene más de la mitad de sus dimensiones al aire libre, esto representa un peligro inminente.

Esta quebrada es la más grande en el sector, posee 3.28 kilómetros de longitud, se origina sobre los 3600 m s.n.m. se abre paso a través del cuerpo del antiguo deslizamiento de Borogueña, en su trayectoria afecta zonas con material fácil de remover y erosionar. Debido a que la zona posee una litología fácil de removilizar, conformado por el Grupo Toquepala, y su unidad Formación Quellaveco, tanto el miembro Inferior, de rocas volcánicas y tobas andesíticas y el miembro Superior, conformada por tobas de clastos y bloques. Todo el material suelto, disponible en la ladera fue incorporado al flujo, ello incremento el volumen y poder destructivo del flujo de detritos (huaico).



Figura 25. Gaviones escalonados destruidos en ambas márgenes de la quebrada Tampuni, (coordenadas UTM E: 346524, N: 8084687)

4.2.3 Caída de rocas y derrumbes

En el sector de Borogueña, la caída de rocas ocurre en escarpes de moderada a alta pendiente, entre 25° a 45°. Las caídas de rocas se originan debido a las características de la roca (tobas moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas), alto grado de inclinación de las laderas y fracturas a favor de la pendiente.

En este sector hay dos tipos de pendientes. El primero es de fuerte a escarpada (entre 25° a 55°) y se ubican en las laderas de las montañas. Mientras que el segundo es de bajo a moderado (entre 1° a 15°), se encuentra en la cima de la montaña, en este sector las fracturas de las rocas se encuentran a favor de la pendiente (Vela. J., et al 2020).

En el sector de Borogueña, los derrumbes se vienen desarrollando en las márgenes del río Grande, el acceso a esas zonas es peligroso, aparentemente los derrumbes se generación por la pérdida de soporte de las bases, debido a la erosión fluvial en la zona (figura 14).

4.2.4 Erosión de laderas en (cárcavas)

Las laderas de los cerros en el sector de Borogueña, están siendo afectados por procesos de erosión de laderas en forma de surcos y cárcavas. En este sector, se observó que estos procesos ocurren en rocas que se encuentran erosionadas, así como en algunas zonas de acumulación de depósitos coluviales.

Las cárcavas tienen anchos de hasta 6 m y profundidades de hasta 5-7 m aproximadamente (Vela. J., et al 2020).

En la figura 26, se muestra el primer mapa de cartografiado de peligros geológicos del informe técnico N° A7037 “Evaluación de peligros geológicos de las zonas propuestas para la reubicación del centro poblado de Borogueña”, elaborado por INGEMMET, en abril del 2020.

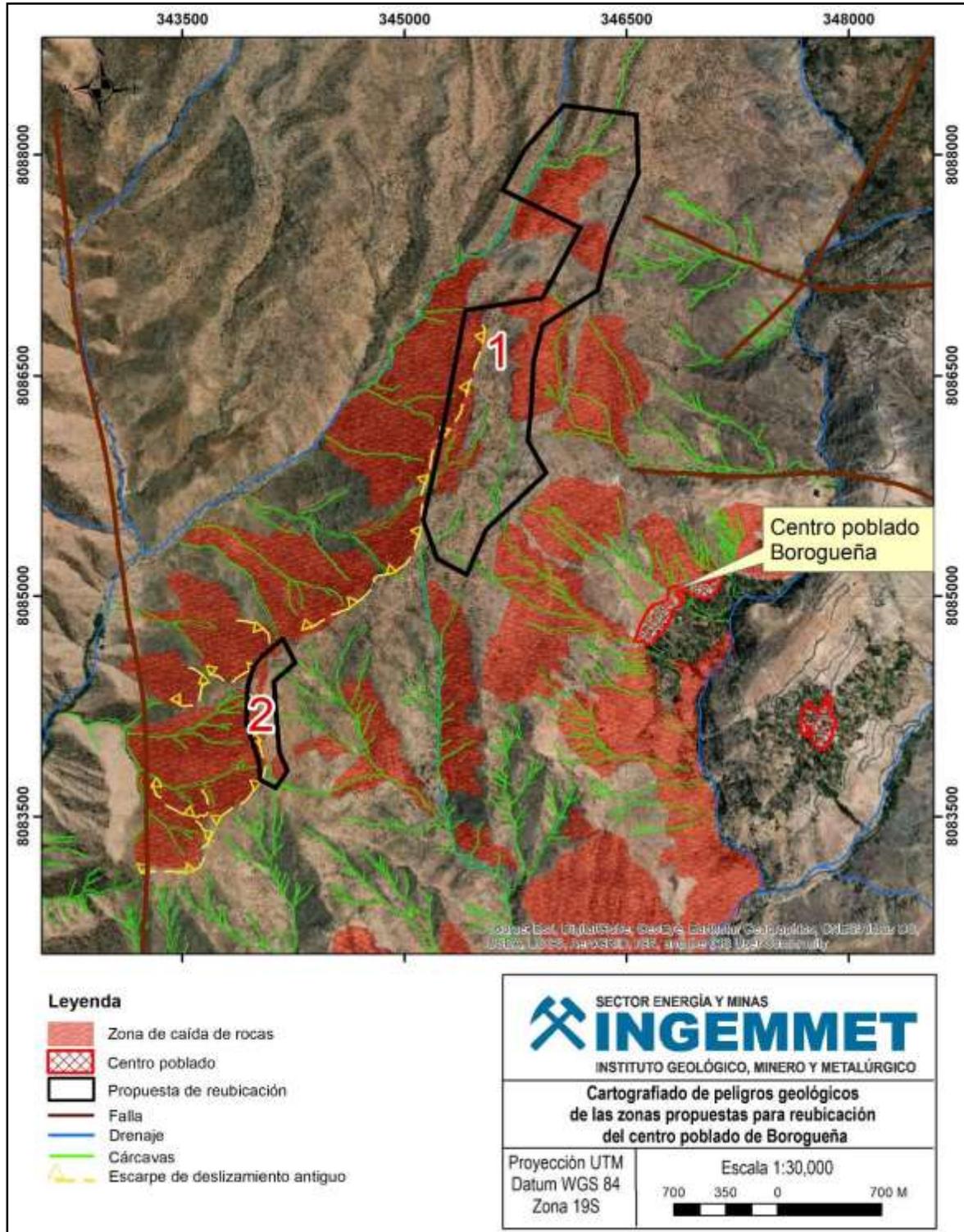


Figura 26. Caída de rocas y cárcavas, tomado de (Vela. J., et al 2020)

4.3 Factores condicionantes

Las causas para la ocurrencia los movimientos en masa, se relacionan con la litología del substrato, pendiente del terreno, presencia de agua en los materiales (rocas y suelos). Los factores condicionantes para ambos sectores vienen dados por:

- Depósitos de mala calidad, los cuales se encuentran inconsolidados, que por su naturaleza son de fácil remoción. Además, se evidencian suelos de mala calidad, conformadas principalmente por conglomerados polimícticos de bloques, gravas y arenas poco consolidadas, tobas asoldadadas y alteradas. Suelos inestables si se saturan de agua.
- La pendiente de los terrenos que varían entre llanos a inclinados suavemente (1° - 5°), a pendiente muy fuerte (25° - 45°) con un cambio abrupto a terrenos escarpados ($> 45^\circ$) en la base y zona media de los acantilados.

4.4 Factores desencadenantes

Los factores desencadenantes para ambos sectores son:

- Precipitaciones pluviales en períodos de lluvia, que ocurre anualmente en la zona. Las precipitaciones pueden genera flujos de detritos (huaicos)
- Ocurrencia de sismos en zonas próximas a las zonas de estudio. Los movimientos sismos genera caída de rocas, derrumbes y activación de deslizamientos.

5. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA

El INGGEMMET a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), elaboro en el año 2009 el "Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú" escala 1:1 000 000. El mapa tiene como objetivos plantear un modelo que indique las zonas de mayor exposición a proceso de remoción en masa, a fin de contar con una herramienta dinámica para la gestión de riesgos; priorizar escenarios donde se desarrollen estudios específicos, así como plantear las medidas de prevención o mitigación para asegurar la estabilidad física de zonas urbanas y/o infraestructuras vulnerables.

El logro de estos objetivos tiene como paso previo, el inventario y/o cartografiado a nivel nacional de movimientos en masa. El modelo de susceptibilidad, utilizó un modelo heurístico multivariado, que implica el análisis cruzado de mapas y geoprocésamiento. Para la validación del modelo se utilizó el Inventario de Peligros Geológicos nacional, resultando que el 86% de movimientos en masa inventariados, se concentran en las categorías de alta a muy alta susceptibilidad. Debido a la ocurrencia del Niño Costero 2017, el INGGEMMET puso a disposición la plataforma virtual "Perú en Alerta", en donde se puede observar e identificar un punto específico en el territorio expuesto a peligros geológicos como zonas susceptibles a ocurrencia de deslizamientos, caída de rocas, flujos, inundaciones, entre otros.

Las zonas de estudio presentan susceptibilidad **muy alta**, frente a la ocurrencia de movimientos en masa (figuras 27 y 28).

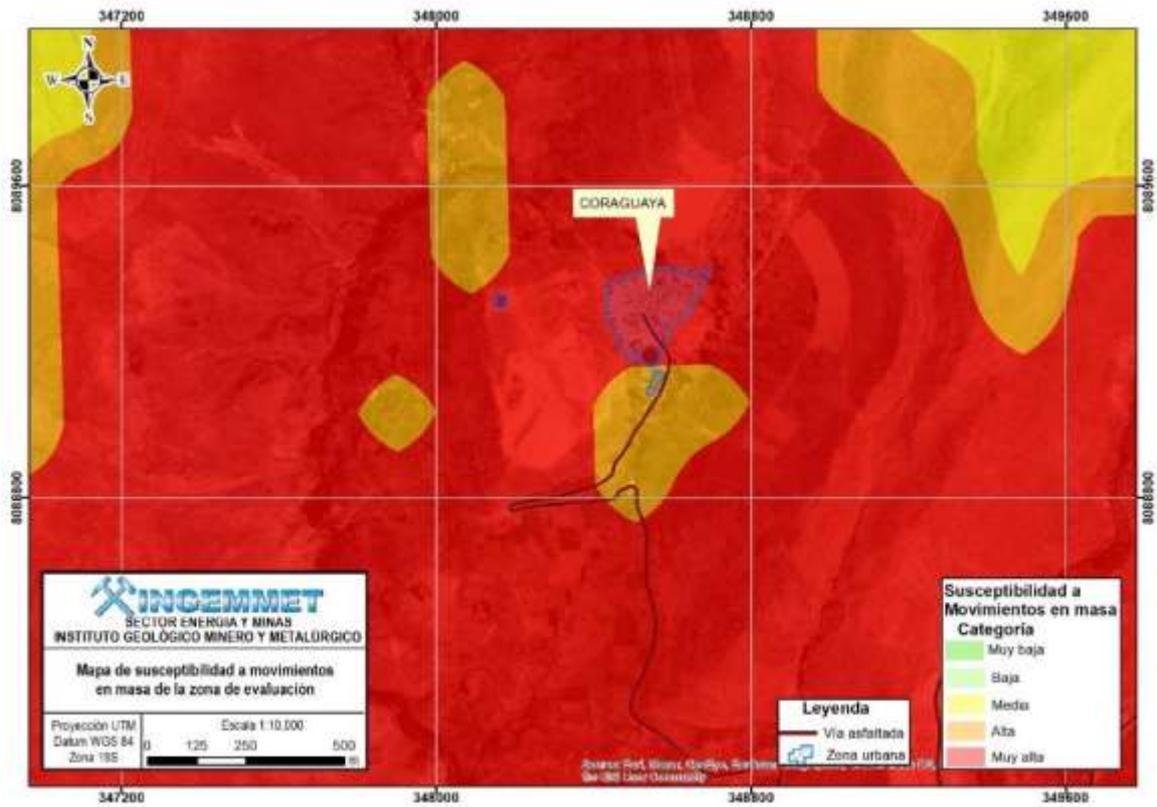


Figura 27. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el sector Coraguaya. Mapa a escala 1:1000 000 (INGEMMET, 2010).

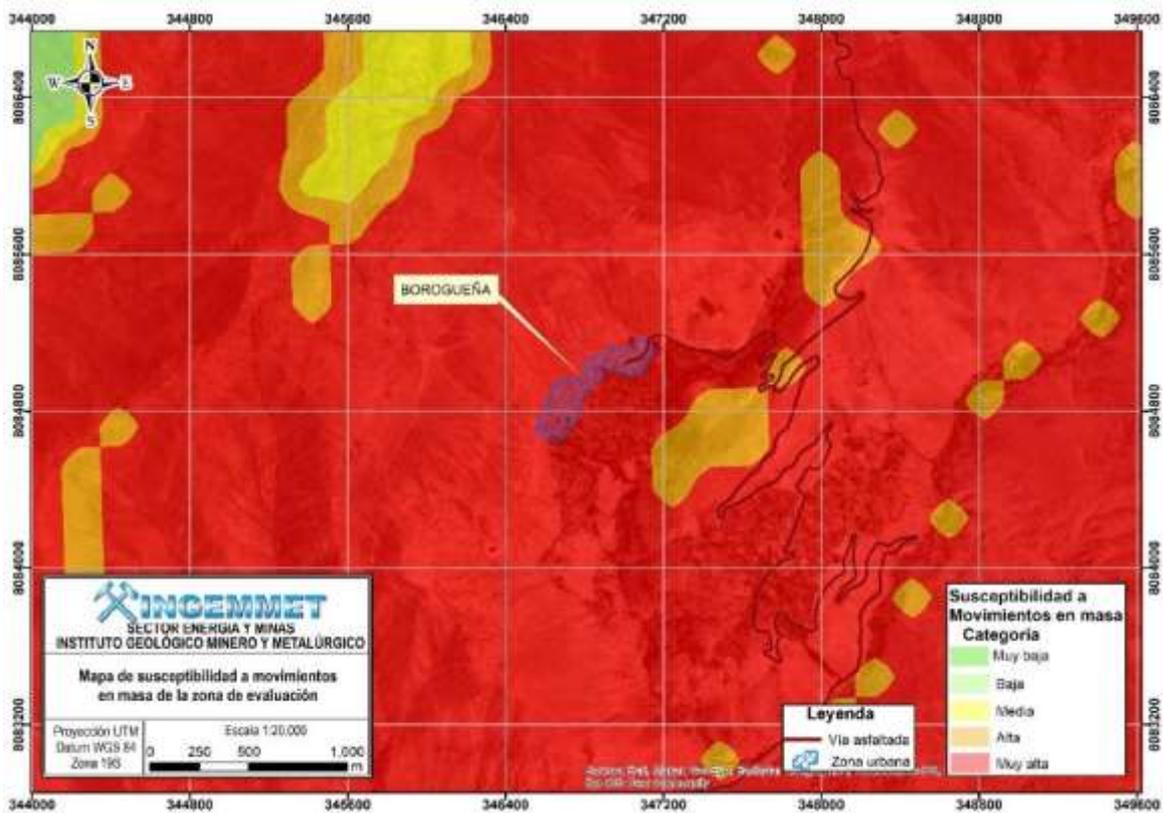


Figura 28. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en el sector Borogueña. Mapa a escala 1:1000 000 (INGEMMET, 2010).

6. CONCLUSIONES

Sector Coraguaya:

- a) La comunidad campesina de Coraguaya está ubicado sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo, cuya corona de deslizamiento mide 1700 m, posee un salto de escarpe de 300 m, tiene un desnivel desde la corona hasta la base del deslizamiento de 653 m.
- b) En la parte alta de Coraguaya se aprecian dos quebradas importantes con depósitos de flujos de detritos (huaicos) antiguos. La quebrada 1, no tiene cauce definido al entrar la zona urbana de Coraguaya.
- c) La zona agrícola de Coraguaya ubicada en la parte baja, en la ladera izquierda del río Grande, presentan en la superficie bloques de rocas de hasta 5-8 m de diámetro; esta zona es altamente susceptible a caída de rocas.
- d) En base al mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:1000 000 (INGEMMET, 2010), el sector de Coraguaya presenta categoría “Muy alta”, frente a movimientos en masas.
- e) Tomando en cuenta los factores condicionantes, tales como litología del terreno, pendiente de los terrenos y presencia de un deslizamiento, se determina que la zona de Coraguaya es considerada de “**Peligro Alto**” frente a movimientos en masa, que podría afectar la integridad física de Coraguaya y habitantes.

Sector Borogueña:

- f) El centro poblado de Borogueña está ubicado en el cuerpo de un deslizamiento antiguo denominado deslizamiento Borogueña, cuya corona de deslizamiento mide 2.25 km, poseen un salto de escarpe de 400 m, tiene un desnivel de 962 m desde la corona hasta la base del deslizamiento.
- g) La zona urbana de Borogueña está ubicado sobre un deslizamiento secundario, con aparente movimiento lento, evidencia de ellos son los derrumbes que se están originando en la quebrada Llustacahua.
- h) El centro poblado de Borogueña es afectado por flujos de detritos (huaicos), en las quebradas Llustacahua, Altamisa, Llocllata y Tanpuni.
- i) La zona agrícola de Borogueña está ubicado al pie de una serie de deslizamientos. En este sector los pobladores emplean el sistema de riegos por gravedad.
- j) En base al mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:1000 000 (INGEMMET, 2010), el sector de Borogueña presenta categoría “Muy alta”, frente a movimientos en masas.
- k) Tomando en cuenta los factores condicionantes, tales como litología del terreno, pendiente de los terrenos y presencia de un deslizamiento, presencia de un deslizamiento secundario, se determina que la zona de Borogueña es considerada de “**Peligro Muy Alto**” frente a movimientos en masa, que podría afectar la integridad física de la zona urbana y los habitantes.

7. RECOMENDACIONES

Sector Coraguaya:

- a) Implementar un sistema de monitoreo instrumental temporal, para detectar algún movimiento en el cuerpo del deslizamiento Coraguaya
- b) Mejorar e implementar el sistema de canales con revestimiento de concreto a lo largo de las zonas agrícolas, para evitar saturar los terrenos de cultivo.
- c) Realizar trabajos de limpieza y descolmatación de los cauces de las quebradas.
- d) Abrir y canalizar el cauce de las quebradas en las zonas urbanas de Coraguaya.
- e) Tomar en cuenta los mapas de susceptibilidad e informes técnicos identificados en los estudios previos, a fin de servir como herramienta en la gestión del riesgo de desastre de la localidad en mención.

Sector Borogueña:

- a) Implementar un sistema de monitoreo instrumental temporal, para detectar algún movimiento en el cuerpo del deslizamiento Borogueña, principalmente en el deslizamiento secundario Ds1.
- b) Realizar trabajos de limpieza y descolmatación de las quebradas.
- c) Mejorar e implementar el sistema de canales con revestimiento de concreto a lo largo de las zonas agrícolas, para evitar saturar los terrenos de cultivo.
- d) Abrir y canalizar el cauce de las quebradas en el sector Borogueña.
- e) Tomar en cuenta los mapas de susceptibilidad e informes técnicos identificados en los estudios previos, los cuales sirven como herramienta en la gestión del riesgo de desastre en las localidades.
- f) Reubicar el centro poblado de Borogueña, tomar en cuenta los resultados de los informes técnicos N° A7037 y N° A6896, elaborados por INGEMMET.



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

8. BIBLIOGRAFÍA

Benavente C.; Delgado G.; García B.; Aguirre E. (2017). Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

Corominas, J. & García Y agüe A. (1997). Terminología de los movimientos de ladera. I V Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. 3,1051-1072

Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 247, p. 36-75.

De La Cruz, N., y De la Cruz O. (2000) - Mapa geológico del cuadrángulo de Tarata, a escala 1/50000, INGEMMET.

Delgado. G., et2016. Datación de depósitos coluviales utilizando nucleídos cosmogénicos (¹⁰Be) – Cronología del deslizamiento Aricota, Resumen: XVIII Congreso Peruano de Geología

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L. y Oteo, C. Ingeniería Geológica. 2002 (1ra. Ed); 2004 (2da. Ed); 2009 (3ra. Ed) Prentice Hall Pearson Educación, Madrid, pp 750.

Municipalidad Distrital de Ilabaya. Instalación de los servicios de protección contra avenidas en las quebradas de incidencia al Anexo de Coraguaya, Distrito de Ilabaya, Provincia Jorge Basadre - Tacna”, COD.SNIP 220199

Jaen La Torre, H. (1965) Geol. del cuadrángulo de Tarata. Comición Carta Geológica Nacional Bol. N° 11. Lima

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.

Tosdal, R.M.; Farrar E, & Clark.A. H. (1981) K-Ar geochronology of the late Cenozoic volcanic rocks of the Cordillera Occidental, Southern Perú. J. Volcanologia Geotherm. Reserch., pp 157-173.

Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportation researchs board Special Report 176, p. 9-33

Vela. J., (2020) Informe técnico INGEMMET N° A7037, “Evaluación de peligros geológicos de las zonas propuestas para la reubicación del centro poblado de Borogueña”.

ANEXO 1 GLOSARIO

Deslizamiento

Llamado también 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).

La nomenclatura de los elementos morfológicos y morfométricos de un movimiento de ladera tipo rotacional, como evidencia en la zona, (figura 29), ha sido desarrollada por la Asociación Internacional de Geología Aplicada a la Ingeniería (IAEG, 1990).

Deslizamiento rotacional, es cuando la superficie de rotura es una superficie cóncava. Los deslizamientos rotacionales se producen fundamentalmente en materiales homogéneos o en macizos rocosos muy fracturados, Antoine (1992), se suelen diferenciar por una inclinación contrapendiente de la cabecera.

Se puede mencionar algunos factores que desencadenan los deslizamientos: rocas muy fracturadas y alteradas o suelos poco coherentes, saturación de suelos o roca alterada por intensas lluvias, deforestación de tierras, erosión fluvial, erosión de laderas (cárcavas), modificación de taludes de corte, actividad sísmica y volcánica.

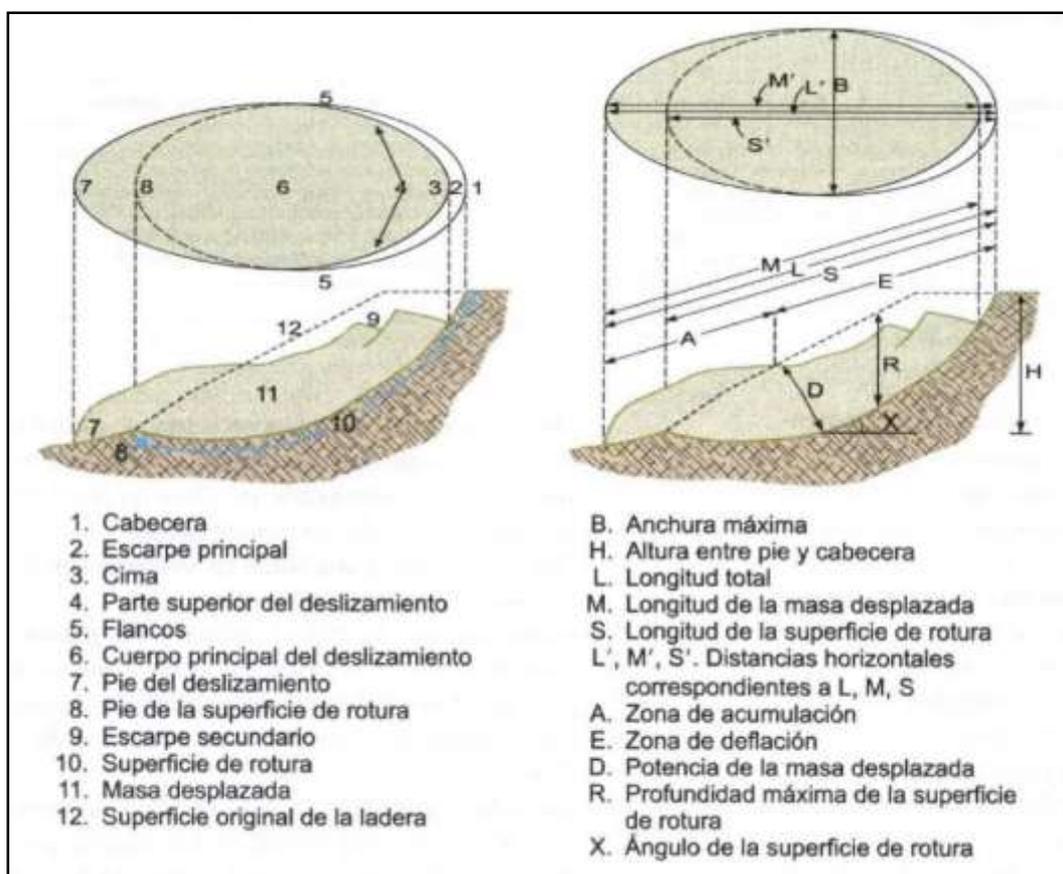


Figura 29. Elementos morfológicos y morfométricos de un deslizamiento, tomado de González de Vallejo (2002).

Caídas o desprendimientos de rocas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento, Varnes, (1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

Una característica importante de las caídas es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

En Evans y Hungr (1993) se pueden consultar ejemplos de caída de roca fragmentada, (figuras 30 y 31). Los acantilados de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

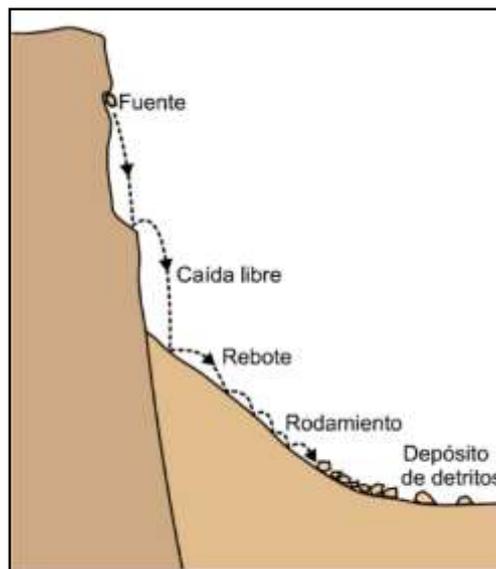


Figura 30. Esquema de la caída de rocas

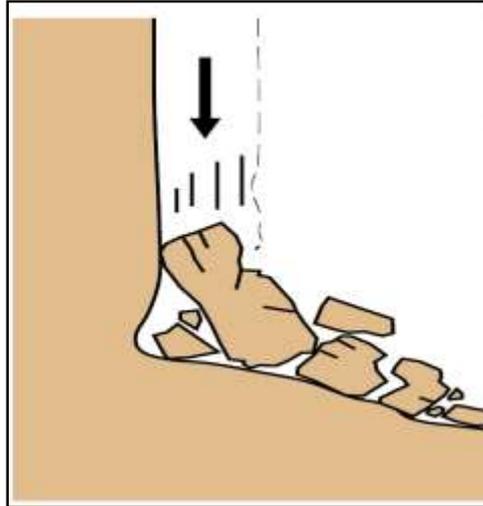


Figura 31. Esquema de Corominas y Yague (1997) denominan a este movimiento “colapso”.

Flujos

Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Existen casos en que se originan a partir de otros tipos de procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978). Pueden transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños, pueden alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es elevada.

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) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Por ejemplo, se tienen flujos de detritos (huaicos), avalanchas de detritos, de roca, etc.

Erosión de laderas (Cárcavas)

La erosión en cárcavas es un fenómeno que se da bajo diversas condiciones climáticas (Gómez et al., 2011), aunque más comúnmente en climas semiáridos y sobre suelos estériles y con vegetación abierta, con un uso inadecuado del terreno o inapropiado diseño del drenaje de las vías de comunicación. Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas típicas del clima mediterráneo, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras (figura 32).

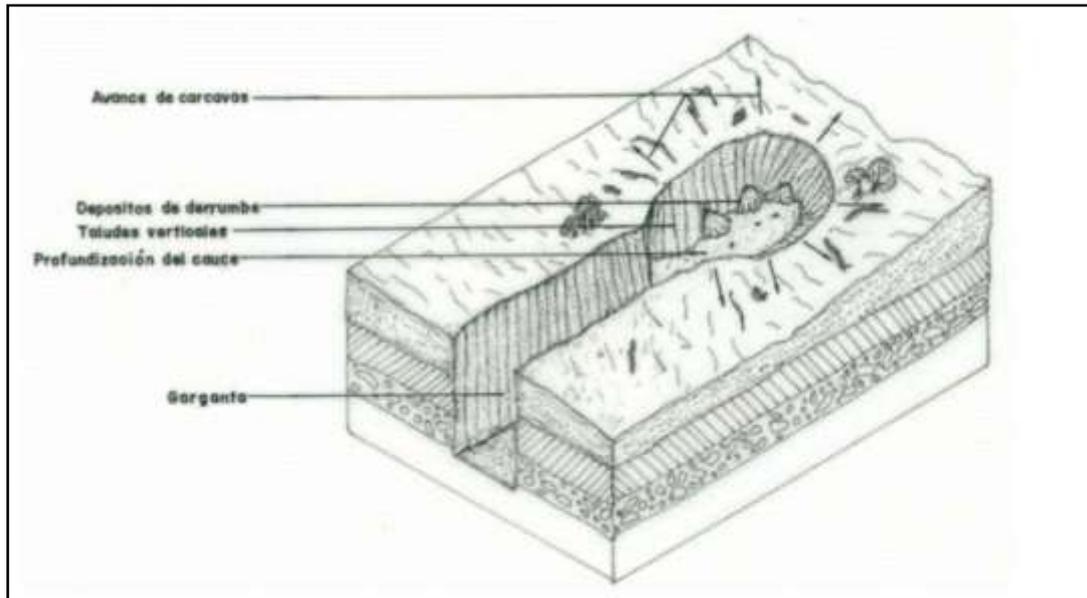


Figura 32. Proceso de formación de cárcavas