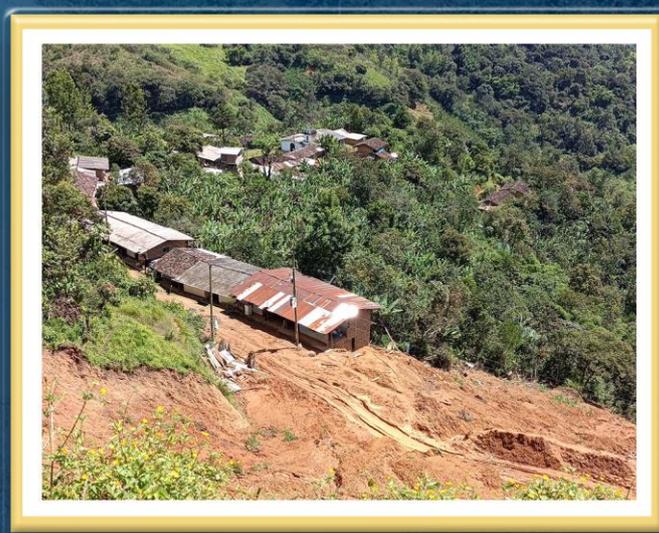
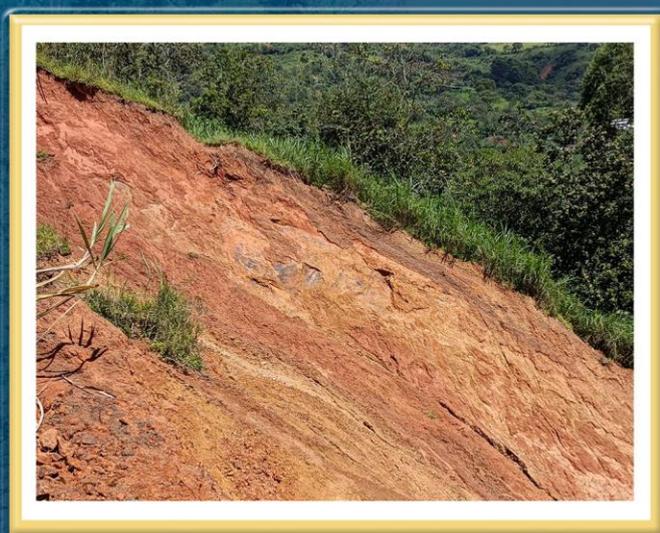


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7378

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CENTRO POBLADO AMBASAL

Departamento Piura
Provincia Ayabaca
Distrito Ayabaca



MAYO
2023

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL CENTRO POBLADO AMBASAL

Distrito Ayabaca, provincia Ayabaca, departamento Piura.

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

Equipo de investigación:

Cristhian Chiroque Herrera

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de peligro geológico por movimientos en masa en el centro poblado Ambasal*. Distrito Ayabaca, provincia Ayabaca, departamento Piura. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7378, 39 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación.....	5
1.3.2. Accesibilidad.....	5
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
3.1. Unidades litoestratigráficas	8
3.1.1. Formación San Lorenzo (Ki-sl3).....	8
3.1.2. Formación La Bocana (Ks-lb/m4).....	9
3.1.3. Depósitos cuaternarios.....	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	12
4.2. Pendientes del terreno	13
4.3. Unidades geomorfológicas	14
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	14
4.3.1.1. Unidad de montaña	15
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	15
4.3.2.1. Unidad de piedemonte	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	18
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	18
5.1.1. Deslizamientos antiguos (DAN).....	19
5.1.2. Deslizamiento rotacional activo (DRA).....	21
5.1.3. Flujo de detritos.....	24
5.1.4. Flujo de lodo.....	25
5.1.5. Derrumbe.....	26
5.2. Factores condicionantes	27
Geomorfológico	27
Litológico	27
5.3. Daños por deslizamiento, flujos y derrumbes	28
5.3.1. Viviendas.....	28

5.3.2. Trocha carrozable	28
5.3.3. Terrenos de cultivos	29
6. CONCLUSIONES	30
7. RECOMENDACIONES	31
8. BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXO 1: MAPAS	33
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	37

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, tipo deslizamientos, en el centro poblado Ambasal; perteneciente a la jurisdicción del distrito y provincia Ayabaca, departamento Piura. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

En el centro poblado Ambasal, el 01 de abril del 2022, ocurrió un deslizamiento rotacional (DRA-1) que destruyó 45 m de la trocha carrozable hacia Ambasal. El escarpe de este deslizamiento alcanzó un largo de 76 m, con salto de 1.5 m; alcanza 220 m desde la corona al pie, con un ancho promedio de 45 m. El material deslizado, se desplazó con dirección sur a norte. Siendo el “detonante” las intensas y/o prolongadas precipitaciones pluviales que sobresaturaron los suelos, para luego descender, ladera abajo, en forma de flujos hasta áreas de cultivo y viviendas.

Además, en los alrededores de Ambasal, se identificaron deslizamientos, derrumbes y flujos condicionados por la pendiente (fuerte a escarpada) y los afloramientos de rocas fuertemente fracturadas y de naturaleza arcillosa. Se identificaron también, antiguos deslizamientos evidenciados en las geoformas coluvio-deluviales y laderas de superficies cóncavas que se emplazan hacia quebradas que se activan en temporada de lluvias.

En el contexto geológico se observan afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias conformadas por lavas andesíticas y calizas lodolíticas correspondientes a las Formaciones San Lorenzo y La Bocana respectivamente; dichas rocas se encuentran fuertemente meteorizadas y fracturadas. Estos afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos coluvio-deluviales (Q-cd) conformados por gravas y cantos subangulosos con matriz de arena de grano medio a grueso, en capas poco compactas, deleznales y muy porosas.

El deslizamiento principal (DRA-1) se desarrolló sobre una vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd) originada por antiguos deslizamientos. Las montañas en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs) se modelaron en relieves con pendientes moderadas a muy fuertes (15°-45). Los sedimentos deslizados del DRA-1, formaron una vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) con pendientes muy fuertes. Las vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales (P-at) se enmarcan en quebradas que se activan en temporada de lluvias por donde descienden flujos de detritos y lodos.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan las laderas donde se ubica el centro poblado Ambasal, se considera de **Peligro Alto** ante deslizamientos y flujos de detritos y lodos, y **Peligro Medio** por derrumbes que podrían activarse ante lluvias intensas o sismos, afectando vías de comunicación, canales de riego y cultivos.

Se recomienda, banquetear e impermeabilizar el área afectada por el DRA-1, complementada con zanjas de coronación. Rehabilitar la trocha carrozable con adecuado control geotécnico. Impermeabilizar canales, cunetas y zanjas mediante membranas de PVC. Reubicar las viviendas próximas a los deslizamientos activos identificados.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, institución 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 con las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas con presencia de elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Provincial de Ayabaca, según OFICIO N°337-2022-MPA-A, es en el marco de nuestras competencias que se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo “deslizamiento, derrumbes y flujos de detritos”, los cuales afectaron viviendas, vías de acceso, canales de riesgo, terrenos de cultivo y la pérdida de una vida humana.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al ingeniero Cristhian Chiroque realizar la evaluación de peligros geológicos, en cuyos trabajos de campo se contaron con el acompañamiento de personal de la oficina de INDECI de la Municipalidad Provincial de Ayabaca.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: gabinete (se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet), cartografía de campo (análisis geológico de los afloramientos y estabilidad de laderas, cartografía geomorfológica y geodinámica, fotogrametría con drones, registro fotográfico georreferenciado), gabinete post campo (se realizó el procesamiento e interpretación de los datos para la redacción del informe técnico).

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se desarrollan en el centro poblado Ambasal, procesos geodinámicos que afectaron terrenos de cultivo, canales de riesgo, viviendas y vías de acceso.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante los peligros geológicos evaluados en la zona.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET relacionados a temas de geología y geodinámica externa de los cuales destacan los siguientes:

- A. Boletín N° 52, serie C: Riesgos Geológicos en la Región Piura, realizado por Vílchez et al., 2013; muestra el inventario de peligros geológicos en la región Piura; la elaboración del mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000, (Tabla 1 y figura 1); en cuyo mapa se muestra que, el centro poblado Ambasal tiene una susceptibilidad alta a muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa; aflorando en esta zona calizas lodolíticas muy fracturadas e intensamente meteorizadas.

Tabla 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	RECOMENDACIONES
SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA: Las condiciones del terreno son muy favorables para que se generen movimientos en masa. Se concentran donde ocurrieron deslizamientos en el pasado, también se tienen ocurrencias recientes.		
Pendientes fuertes a muy fuertes (15°-45°), sustrato rocoso de mala calidad, se tienen rocas volcánicas (andesitas), volcánico-sedimentarias (andesitas, areniscas, lutitas, limolitas) e intrusivas (granitos, granodioritas, tonalitas) muy fracturadas y meteorizadas a suelos de tipo arcillo-limoso, areno limoso. Dentro de esta zona se produce la mayor cantidad de movimientos en masa (deslizamientos, caídas, flujos y movimientos complejos), además de procesos de erosión de laderas.	Dentro de esta zona se encuentran las localidades de Huancabamba, Bigote, Frías, Lagunas, Sondorillo, Yamango y Tunal.	Prohibir el desarrollo de toda infraestructura, sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción de probable infraestructura de cualquier tipo (carreteras, puentes, predas, hidroeléctricas) o habilitaciones urbanas.
SUSCEPTIBILIDAD ALTA: Confluyen la mayoría de las condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes. Colinda con zonas de muy alta susceptibilidad en la Cordillera Occidental		
Pendientes medias a muy fuertes (15-45°), se encuentran ocupando las laderas de montañas y colinas altas; se tienen depósitos de material superficial inconsolidado que constituyen terrazas aluviales y abanicos proluviales y aluviales. El sustrato rocoso está conformado por rocas volcánico-sedimentarias (areniscas, lutitas, andesitas), rocas intrusivas (granodiorita, granito, tonalita) y rocas volcánicas (andesitas), las cuales se encuentran muy fracturadas y alteradas a suelos arcillo-limosos, limo-arcillosos y areno-limosos.	Dichas áreas comprenden las laderas de los cerros de Amotapes, Illescas, laderas de montaña donde se ubican las localidades de Canchaque, Sicches, Ayabaca, Montero, Buenos Aires, Sapillica y Huarmaca.	Restringir el desarrollo de infraestructura urbana o de instalaciones destinadas a una alta concentración de personas. Para infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deberán realizar estudios geotécnicos de detalle.

- B. Boletín N° 39, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos, Pomahuanca”. Hojas: 9-c, 9-d, 10-c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d y 12-e (1987). El área de evaluación se ubica al extremo norte del cuadrángulo de Ayabaca, hoja 10-d a escala 1: 100 000 que abarca parte del distrito de Ayabaca. En la zona de evaluación afloran rocas tipo andesitas piroclásticas intercaladas, areniscas calcáreas, margas, calizas bituminosas, limolitas y grauvacas. Los afloramientos forman relieves montañosos con pendientes fuertes a escarpadas donde se ubica el centro poblado Ambasal. Esta información fue actualizada a escala 1/50 000, donde se identificaron rocas volcánico-sedimentarias conformadas por lavas basálticas a andesitas basálticas con niveles brechosos; además de, calizas lodolíticas, margas y niveles tobáceos.

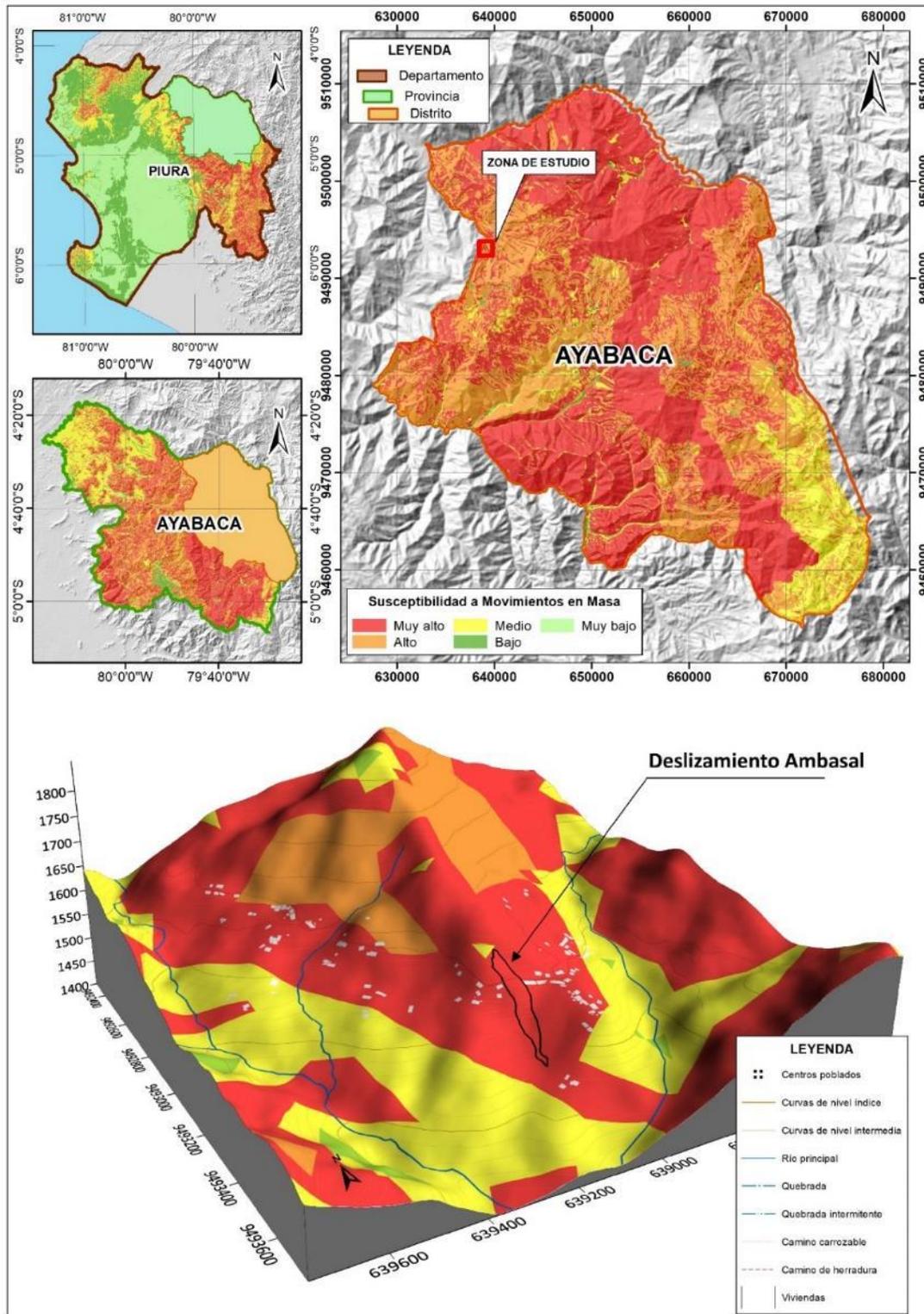


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000 de la zona de evaluación (Vílchez, 2013).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación abarca al centro poblado Ambasal, ubicado en la ladera oeste y este del cerro del mismo nombre, perteneciente al distrito y provincia Ayabaca y departamento de Piura (figura 2); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (tabla 2):

Tabla 2. Coordenadas del área de evaluación

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	638583	9493568	4° 34' 50.365" S	79° 45' 2.581" W
2	639549	9493568	4° 34' 50.310" S	79° 44' 31.245" W
3	639549	9492652	4° 35' 20.139" S	79° 44' 31.193" W
4	638583	9492652	4° 35' 20.194" S	79° 45' 2.529" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Coordenada principal	639039	9493246	4° 35' 0.812" S	79° 44' 47.783" W

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Piura mediante la siguiente ruta (tabla 3):

Tabla 3. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Piura – Tambogrande	Asfaltada	54	1 h 15 min
Tambogrande – Las Lomas	Asfaltada	35.5	40 min
Las Lomas – Paimas	Asfaltada	40.2	45 min
Paimas – Ayabaca	Vía afirmada	58	2 h 15 min
Ayabaca – Ambasal	Trocha carrozable	20	1 h 15 min

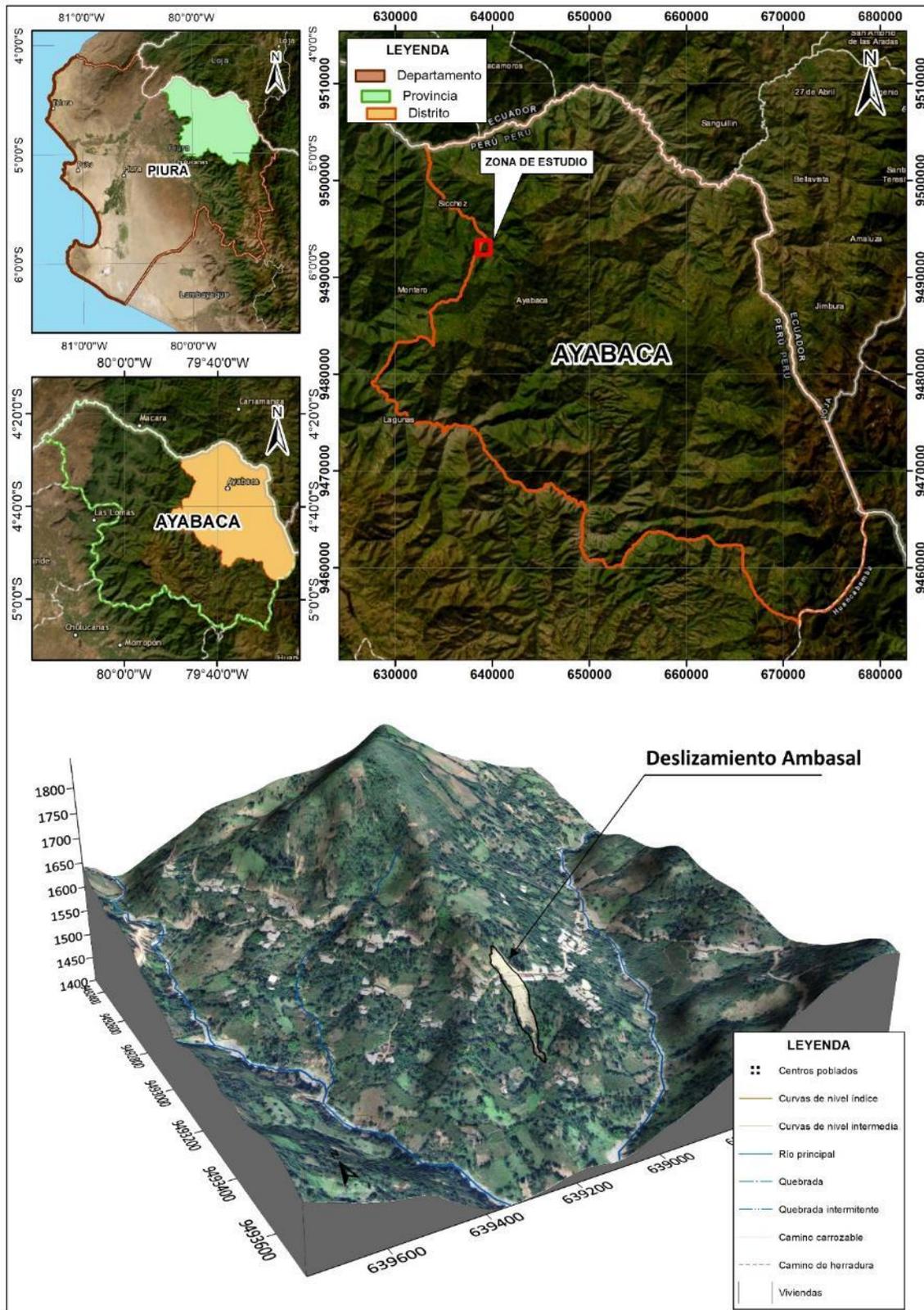


Figura 2. Ubicación del centro poblado Ambasal.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007), donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

AGRIETAMIENTO: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

BUZAMIENTO (dip) Angulo que forma la recta de máxima pendiente de un plano con respecto a la horizontal y puede variar entre 0° y 90°.

CAÍDA (fall) sin.: desprendimiento. Tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes rebotes y rodamiento. Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. Algunos autores, como Corominas y Yague (1997) denominan colapso a los casos en que el material cae de manera eminentemente vertical.

CORONA (crown): Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DESLIZAMIENTO (slide) Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

EROSIÓN (erosión) Parte del proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste del arranque y transporte de material de suelo o roca por un agente natural como el agua, el viento y el hielo, o por el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glaciar, marina y pluvial. Por su aporte, de acuerdo a las formas dejadas en el terreno afectado se clasifica como erosión en surcos, erosión en cárcavas y erosión laminar.

ESCARPE (scarp). sin.: escarpa. Superficie vertical o semi vertical que se forma en macizos rocosos o de depósitos de suelo debido a procesos denudativos (erosión, movimientos en masa, socavación), o a la actividad tectónica. En el caso de deslizamientos se refiere a un rasgo morfométrico de ellos.

FLUJO DE LODO (mud flow) sin.: flujo de barro (Ch), torrente (Bol). Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido

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

METEORIZACIÓN (weathering). Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes.

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide). sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

SUSCEPTIBILIDAD: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El contexto geológico realizado en el centro poblado Ambasal, se desarrolló en base al cuadrángulo geológico de Ayabaca hoja 10-d a escala 1:100 000 (Reyes, R.; et al 1987) y la actualización del año 2007, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Ayabaca – Hoja 10-d-IV a escala 1:50 000. Se describen lavas basálticas a andesitas basálticas de la Formación San Lorenzo que se encuentran en contacto con calizas lodolíticas y margas grises de la Formación La Bocana que se muestran en el Anexo como Mapa 1.

3.1. Unidades litoestratigráficas

A continuación, se describen las características litológicas locales de los afloramientos en la zona de estudio (figura 3):

3.1.1. Formación San Lorenzo (Ki-sl3)

Estos afloramientos están conformados por lavas basálticas a andesitas basálticas de aspecto masivo con estructuras amigdalares, interestratificado con niveles brechosos fuertemente fracturados e intensamente meteorizados. En los cortes de talud se aprecian secuencias con condiciones geomecánicas muy desfavorables, en superficie se observa la roca muy descompuesta y desintegrada (fotografía 1).

3.1.2. Formación La Bocana (Ks-lb/m4)

Estos afloramientos están conformados por calizas lodolíticas, margas grises oscuras laminadas, intercaladas con calizas color gris en estratos delgados y algunos niveles tobáceos. Estas secuencias se encuentran fuertemente fracturadas e intensamente meteorizadas, con filtraciones de agua evidenciadas en goteo lento, en superficie se observa la roca muy descompuesta y desintegrada (fotografía 2).



Fotografía 1. Vista aérea de los afloramientos de la Formación San Lorenzo en contacto con la Formación La Bocana.



Fotografía 2. Calizas lodolíticas intensamente fracturadas de la Formación La Bocana.

3.1.3. Depósitos cuaternarios

Depósitos fluviales (Q-fl)

Los constituyen los materiales de los lechos de los ríos o quebradas, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenolimosos.

Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta. En la zona de evaluación este tipo de depósito se distribuye en la quebrada Ambasal (fotografía 3).



Fotografía 3. Vista hacia la quebrada Ambasal donde se observan depósitos fluviales.

Depósito coluvio deluvial (Q-cd)

Corresponde a una acumulación sucesiva y alternada de materiales de origen coluvial y deluvial, los cuales no es posible diferenciarlos. Los depósitos coluviales se encuentran formados por acumulaciones ubicadas al pie de taludes escarpados de bloques rocosos angulosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea. Conforman taludes de reposo poco estables; dentro de este tipo de depósito se encuentran los materiales generados por movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, etc. (fotografía 4).



Fotografía 4. Vista de los depósitos coluvio deluviales en la ladera afectada por el deslizamiento.

Depósito coluvial (Q-co)

Son depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas, como material de escombros no consolidados, heterométricos constituidos por bolos (15%), cantos (20%), gravas (10%), gránulos (30%) de formas subangulosas a angulosas; además de arenas (25%). Estos depósitos se distribuyen en el área del deslizamiento que afectó el centro poblado Ambasal (fotografía 5).



Fotografía 5. Vista de los depósitos coluviales originadas por el deslizamiento en el CP. Ambasal.

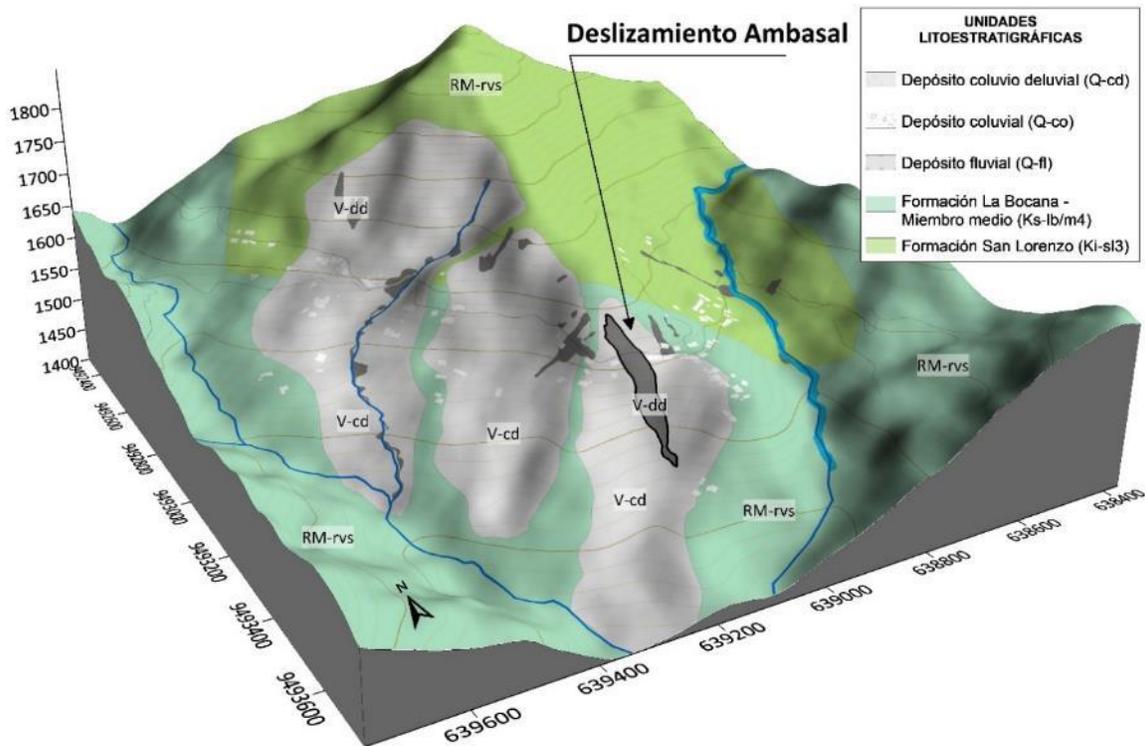


Figura 3. Afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Se realizó el levantamiento fotogramétrico con drones, de donde se obtuvo el modelo digital de elevaciones, pendientes y ortofoto con una resolución (GSD) de 5 cm por pixel, esta información se complementó con un MDT extraído del servicio ALOS PALSAR de 12.5 m/pix. Además, se realizó la revisión de imágenes satelitales y el análisis de la morfometría del relieve en los trabajos de campo.

4.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El área de evaluación alcanza hasta 1850 m, al sur del centro poblado Ambasal, mientras que, las cotas más bajas se ubican al norte del área de evaluación en la quebrada del mismo nombre con 1400 m de altitud. Los peligros geológicos tipo deslizamiento se distribuye sobre una ladera con elevaciones entre 670 m s.n.m. y 619 m s.n.m, en la zona de arranque y pie del deslizamiento (figura 4). En las laderas se desarrolla actividad agrícola por ende es irrigada por canales de riego sin revestir, se identificaron dos canales, en la parte superior o corona del deslizamiento y un canal en la parte media del cuerpo del deslizamiento.

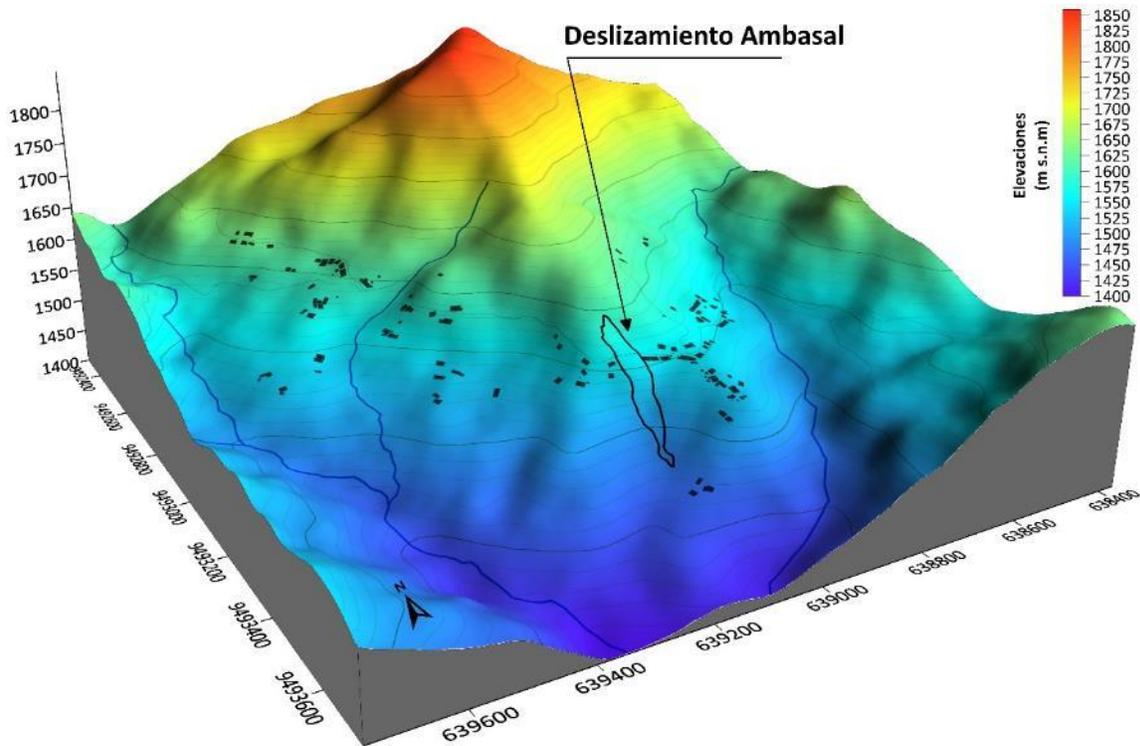


Figura 4. Mapa de elevaciones en el área de evaluación.

4.2. Pendientes del terreno

Los relieves con pendientes escarpadas pueden condicionar la ocurrencia de movimientos en masa y controlar el modelamiento de las geoformas que conforman el relieve actual. En ese sentido, se elaboró el mapa de pendientes para identificar zonas de aporte y recepción de materiales provenientes de deslizamientos y avalanchas antiguas y que condicionan los peligros geológicos recientes.

El área de evaluación abarcó un total de 95.9 ha, sobre el cual, mediante el modelo digital de elevaciones, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para el cálculo de áreas, expresado en porcentaje por cada rango de pendiente.

Caracterizado el área por laderas de pendientes moderadas a fuertes (5° - 25°) que abarcan el 59% (57 ha), en cuyos rangos se desarrolla el deslizamiento de tipo rotacional que afectó 45 m lineales de una trocha carrozable. De otro lado, las pendientes muy fuertes a muy escarpadas (25° - 90°) alcanzan el 35% (34 ha) y es sobre a cuál se localiza gran parte del área afectada hasta donde descendió el material deslizado.

Las pendientes llanas a suavemente inclinadas solo abarcan el 8% (8 ha), distribuidos de forma dispersa en el área de evaluación, con depósitos de piedemontes coluvio-deluvial, asociado a antiguos deslizamientos, sobre la cual se asienta el área urbana del sector Ambasal (figura 5).

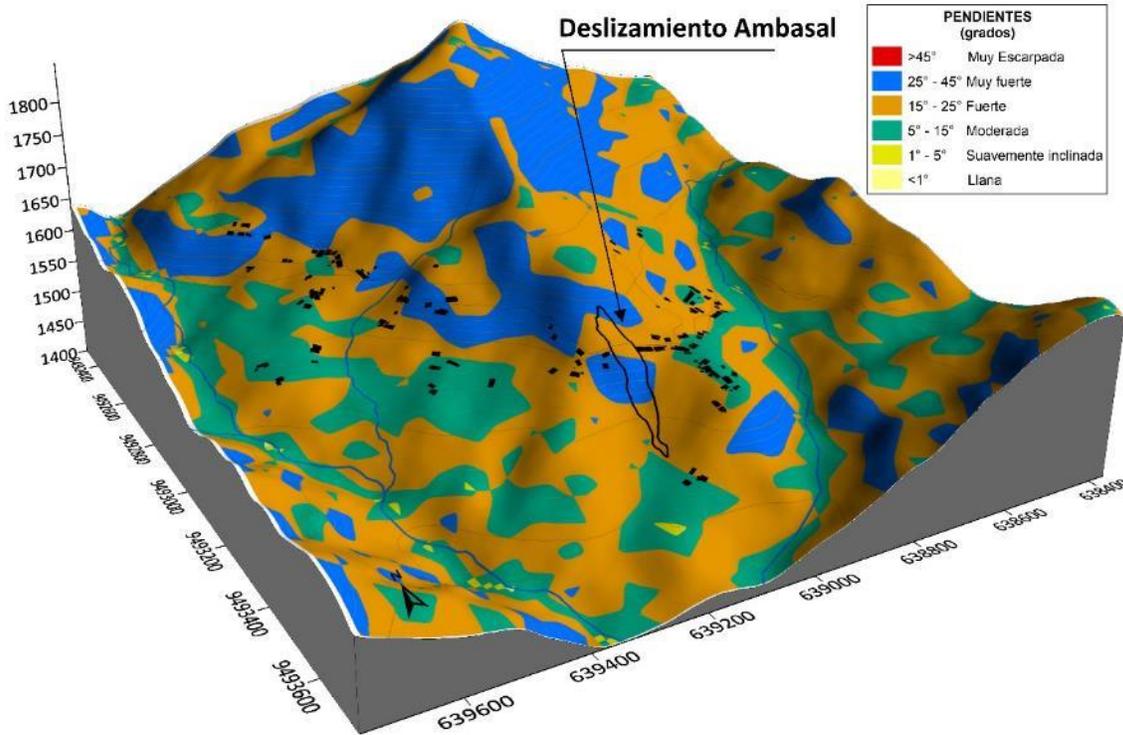


Figura 5. Mapa de pendientes en el centro poblado Ambasal.

4.3. Unidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (erosión o acumulación), individualizando cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de la altura relativa, diferenciándose planicies, colinas, lomeríos, piedemontes y montañas (Zavala, B. et al 2009).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Tomando como base el mapa geomorfológico de Ancash, a escala 1/ 250 000 (Zavala, B. et al 2009), se realizó el ajuste y definición de las unidades mediante la información obtenida en campo (Anexo 1: Mapa 2).

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Las geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005):

4.3.1.1. 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 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

Subunidad de montaña en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs): Esta unidad geomorfológica es evidencia de los primeros levantamientos del Batolito Andino, están conformados por lavas basálticas a andesitas basálticas de aspecto masivo que modelan relieves con pendientes fuertes. Las montañas se distribuyen en gran parte del área de evaluación, conforman relieves que alcanzan hasta los 1850 m s.n.m hacia el sur (figura 6).



Figura 6. Montaña en rocas intrusivas al oeste del área de evaluación.

4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Las geoformas de carácter depositacional y agradacional son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como el agua de escorrentía, los glaciares, las corrientes marinas, las mareas y los vientos. Estos tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

4.3.2.1. Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional.

Subunidad de vertiente o piedemonte coluvio deluvial (V-cd): Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presentan pendientes moderadas a fuertes (5° - 25°). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos (figura 7).

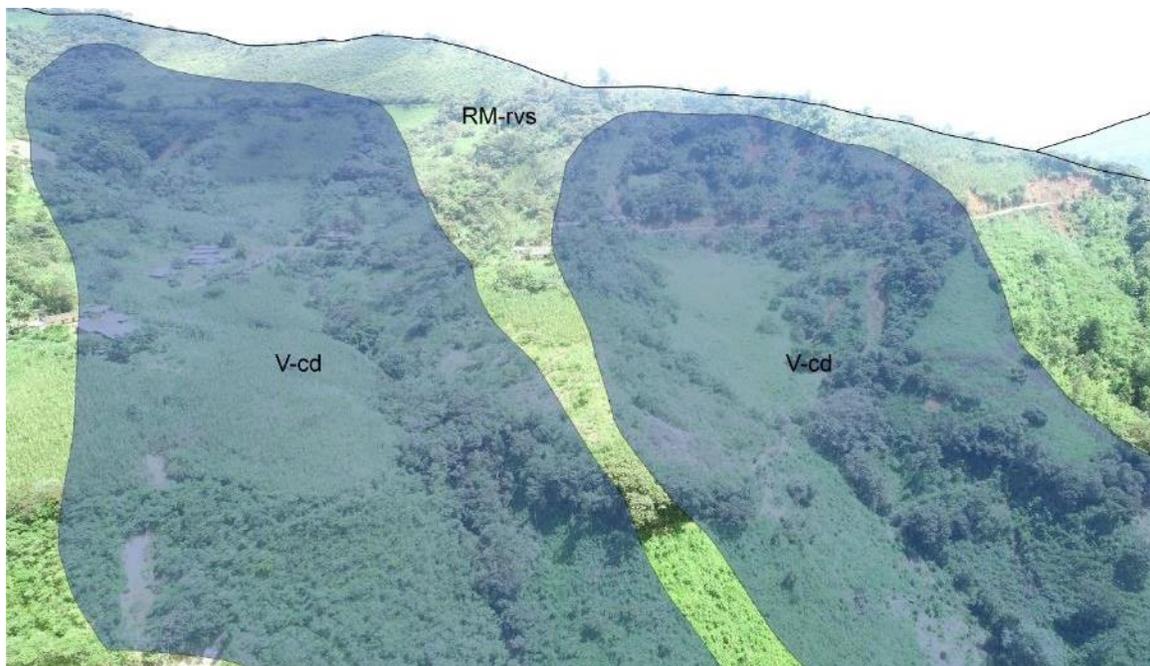


Figura 7. Piedemonte coluvio-deluvial con pendientes moderadas a muy fuertes.

Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Esta geofoma es el resultado de la acumulación de materiales movilizados debido al deslizamiento, modifican localmente la forma de las laderas con pendientes fuertes a muy escarpadas. El deslizamiento ocurrido el 23 de marzo, transportó gran cantidad de materiales conformados por bolos, cantos y gravas en una matriz arenosa que alcanzó 270 m de largo (figura 8).



Figura 8. Vista de la vertiente o piedemonte de deslizamiento en el caserío Ambasal.

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Es una planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua estacionales, de carácter excepcional. En el área de estudio está representado por flujos de detritos y lodos que se activan en la quebrada Ambasal (figura 9).



Figura 9. Vista de la vertiente aluvio torrencial en el centro poblado Ambasal.

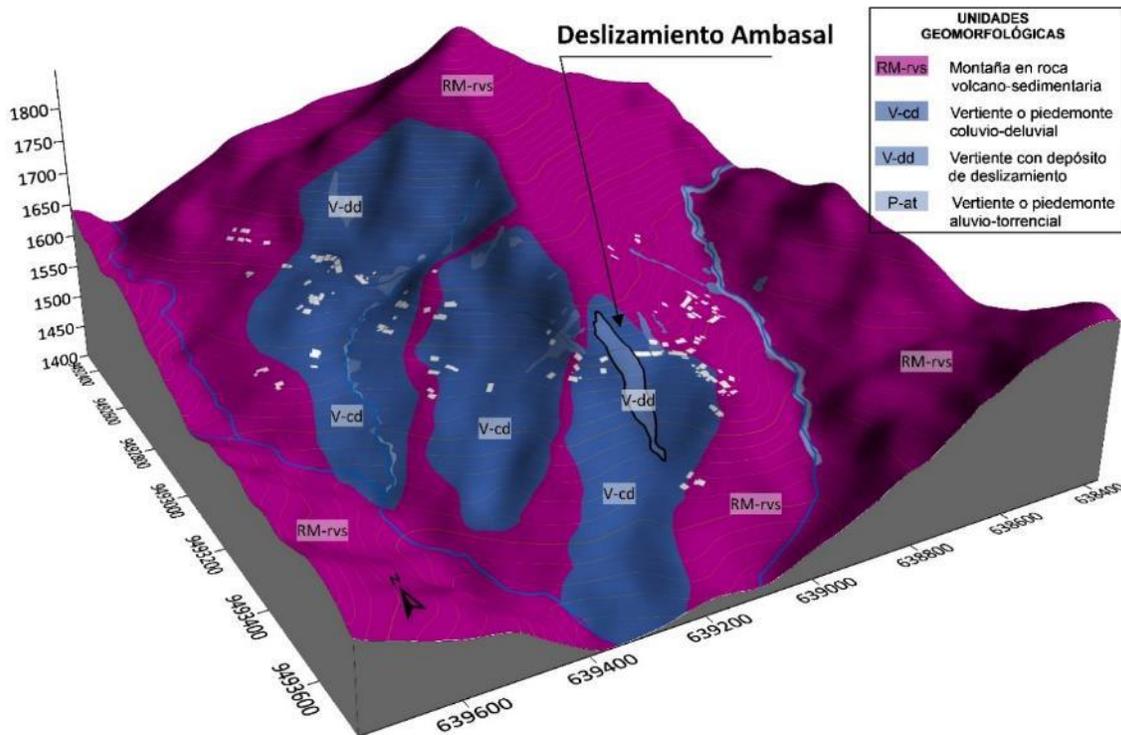


Figura10. Geformas delimitadas en el centro poblado Ambasal.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El principal peligro geológico identificado en el centro poblado Ambasal, corresponde a movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes y flujos de detritos y lodos (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, condicionado por afloramientos de rocas incompetentes, sedimentos poco consolidados y susceptibles a la generación de movimientos en masa (Anexo 1: Mapa 3).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los eventos de movimientos en masa, corresponden a 03 deslizamientos antiguos (DAN), 13 deslizamientos de tipo rotacional activos (DRA), 16 derrumbes, 01 flujo de detritos y 03 flujo de lodos; en los cuales se cartografiaron escarpes, agrietamientos y depósitos; procesos que afectan terrenos de cultivos y vías de comunicación.

En los trabajos de campo, pobladores manifiestan que estos procesos de erosión, iniciaron en el mes de enero con la “aparición de grietas” e incrementándose en amplitud los primeros días de marzo, en específico el 23 de marzo, ocurre el deslizamiento que ocasionó la pérdida de una vida humana y la interrupción temporal de un tramo de 45 m de largo de la trocha carrozable que conecta al centro poblado Ambasal con diversos anexos.

A continuación, se describe y caracteriza estos eventos geodinámicos ocurridos en el centro poblado Ambasal, donde además se realiza la cartografía geológica y geodinámica, descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas y fotogrametría con dron.

5.1.1. Deslizamientos antiguos (DAN)

En este tipo, se identificaron 03 deslizamientos, el deslizamiento antiguo (DAN-1) tiene aproximadamente 875 m de largo y 305 m de ancho, el escarpe principal se estima en 670 m de largo, la zona de arranque se ubica a 1741 m de altitud se evidencia en depósitos coluvio deluviales conformada por bloques angulosos que evidencias el corto recorrido del deslizamiento (figura 11).



Figura 11. Vista aérea del deslizamiento antiguo (DAN-1).

El deslizamiento antiguo (DAN-2) tiene aproximadamente 630 m de largo y 270 m de ancho, el escarpe principal se estima en 370 m de largo, la zona de arranque se ubica a 1660 m de altitud se evidencia en depósitos coluvio deluviales conformada por bloques angulosos que evidencias el corto recorrido del deslizamiento que descienden hasta los 1492 m de altitud (figura 12).

El deslizamiento antiguo (DAN-3) tiene aproximadamente 605 m de largo y 235 m de ancho, el escarpe principal se estima en 330 m de largo, la zona de arranque se ubica a 1550 m de altitud se evidencia en depósitos coluvio deluviales conformada por bloques angulosos que evidencias el corto recorrido del deslizamiento (figura 13).

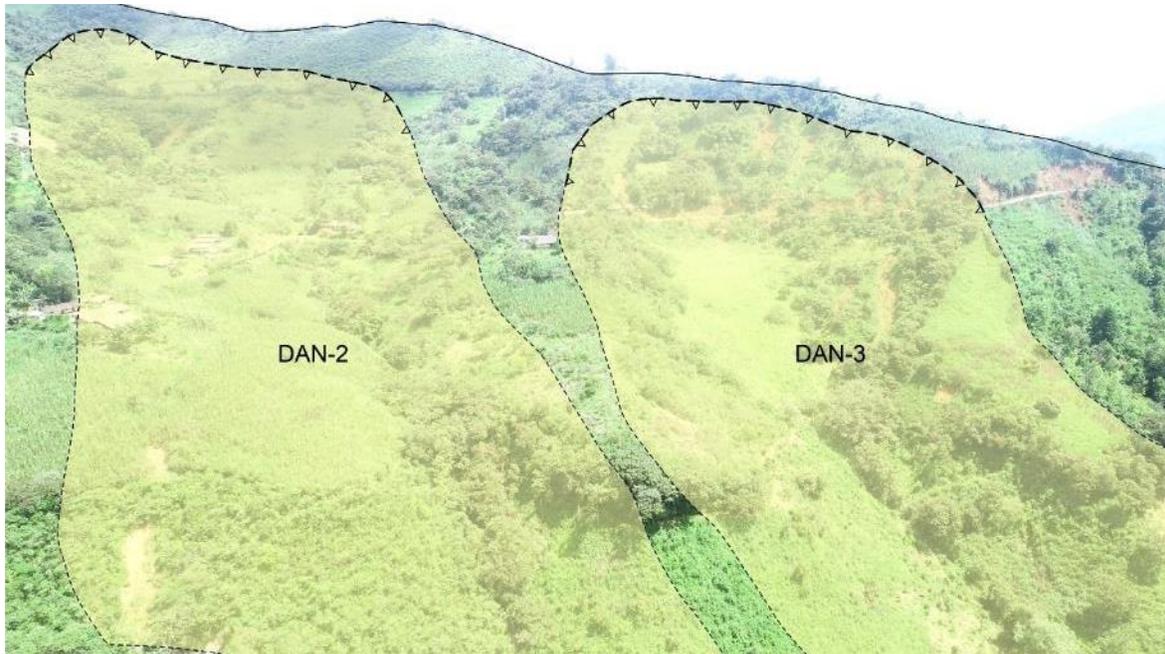


Figura 12. Vista aérea del deslizamiento antiguo (DAN-2).



Figura 13. Vista aérea del deslizamiento antiguo (DAN-3).

Cabe precisar, que en la ladera donde se ha definido el deslizamiento antiguo, se desarrollan actividades agrícolas, regadas con sistema de riego de canales de tierra sin revestir; además los depósitos coluvio deluviales, están conformados por materiales poco compactos y muy porosos, facilitando la sobresaturación del subsuelo.

5.1.2. Deslizamiento rotacional activo (DRA)

De este tipo de eventos, se identificaron aproximadamente 13 deslizamientos de tipo rotacional activos; el evento de mayor importancia ocurrió en el sector La Curva, próxima al centro de Salud Ambasal, que ocurrió a las 13.30 horas del 01 de abril del presente, y otro en el mismo del centro poblado Ambasal, con las siguientes coordenadas UTM 9493248 N, 639043 E y 1598 m s.n.m. (figura 14).



Figura 14. Vista aérea del deslizamiento (DRA-1) en el centro poblado Ambasal.

El deslizamiento tiene un escarpe irregular en herradura de 76 m de longitud y 1.5 m de alto donde se pueden apreciar estrías de falla debido al movimiento, los saltos varían de 1 a 2.5 m, y el desnivel entre la escarpa y el pie es de 280 m (DRA-1) (figura 15). La parte superior o la zona de arranque, no ha sufrido desplazamientos ladera abajo, pero sí deformaciones, que originan grietas por tracción o tensión que se emplazan de forma paralela o semiparalela al escarpe.

Al momento de la evaluación de campo, la trocha carrozable se encuentra habilitada y parcialmente reconstruida, y cuenta con un ancho de 3 m; el tramo afectado no tuvo un desplazamiento, el material deslizado alcanzó hasta 4 m de alto, dificultando el paso y la limpieza de la vía hacia los poblados y caseríos anexos (figuras 15 y 16).

El deslizamiento abarca un total de 0.81 ha, afectando principalmente de terrenos de cultivos y 14 m de un canal de riego no revestido que probablemente sobresaturó los sedimentos y materiales de naturaleza areno arcillosa.

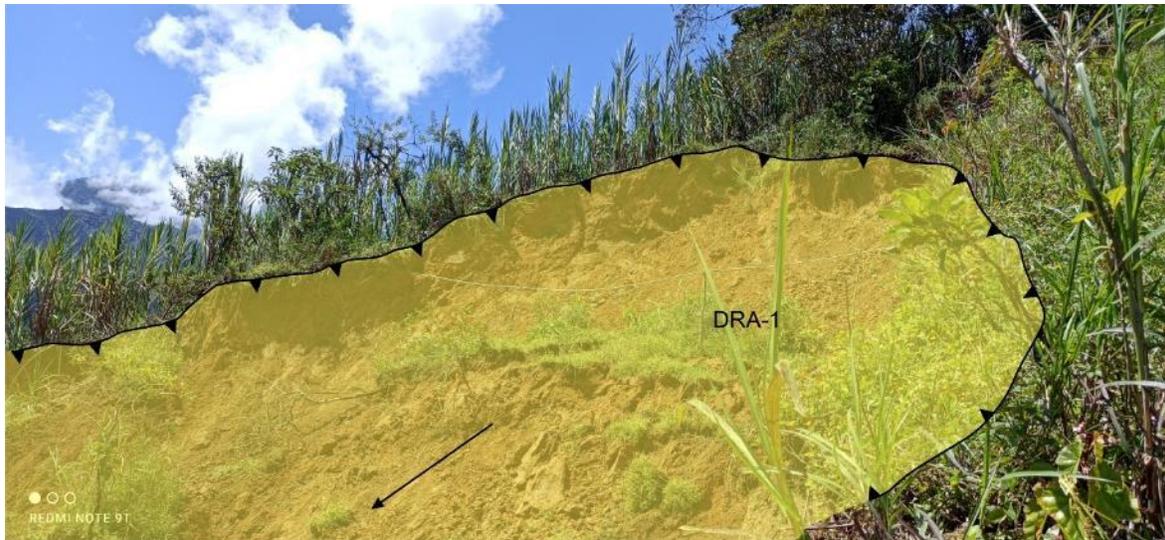
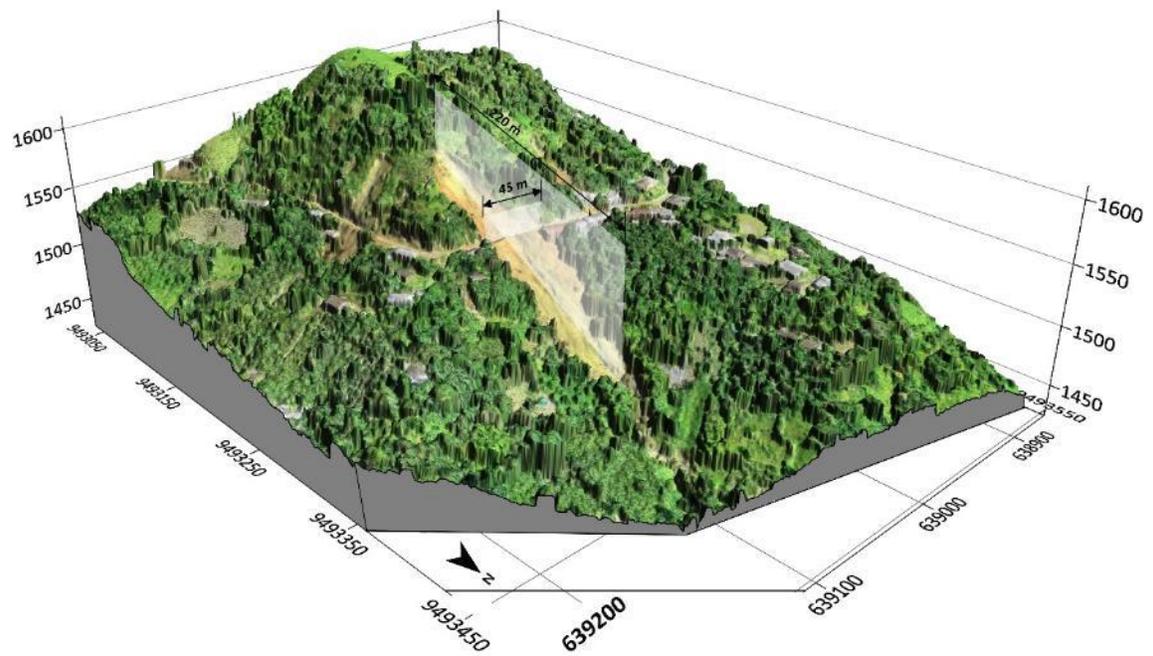


Figura 15. Escarpe visto desde el flanco izquierdo del deslizamiento.



Perfil longitudinal

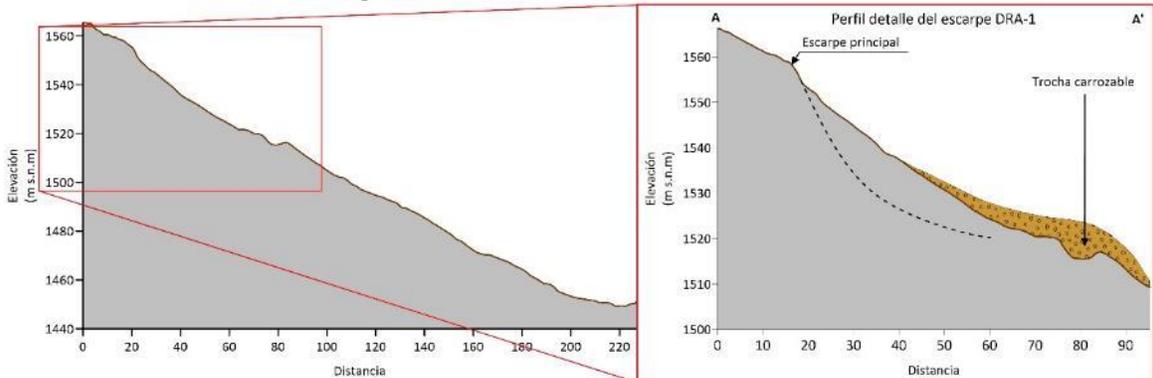


Figura 16. Vista 3D y sección transversal del deslizamiento y del escarpe principal.

Análisis longitudinal del deslizamiento (DRA-1)

El perfil A-A' muestra el proceso del movimiento en masa que se inicia en el escarpe principal del deslizamiento, ubicado a 1560 m de elevación, muestra el cuerpo de un deslizamiento de tipo rotacional generado a partir de un deslizamiento antiguo, el cual se originó sobre depósitos coluvio-deluvial, compuesto por bolos (10%), cantos (15%), gravas (10%), gránulos (35%) y arenas arcillosas (30%), los componente más grandes tiene una granulometría subangulosa a angulosa evidenciando el corto recorrido de los deslizamientos antiguos (figura 17).

La zona de estudio se asienta sobre calizas lodolíticas y margas grises oscuras intercaladas con calizas en estratos delgados y niveles tobáceos en la parte inferior, estas rocas se encuentran fuertemente fracturadas, con espaciamiento regular entre sus fracturas (0.06 a 0.20 m). Se observó que, de 1 a 2 m de profundidad la roca se encuentra completamente meteorizada (V); es decir, la roca se encuentra desintegrada a suelo; mientras que, de 2 m a 5 m de profundidad la roca encuentra muy meteorizadas (IV).

El factor detonante fueron los canales de riego sin revestir que permitieron que parte del agua de lluvias se infiltrara al subsuelo muy poroso, el efecto del agua infiltrada saturó las capas superficiales conformadas por calizas lodolíticas que incrementaron su carga, esto se combinó con las propiedades físico-mecánicas de los materiales cuaternarios (poco consolidado), rocas de muy mala calidad y la pendiente de la ladera moderadas a fuerte (5°- 25°) a muy fuertes a muy escarpadas (25°-90°).

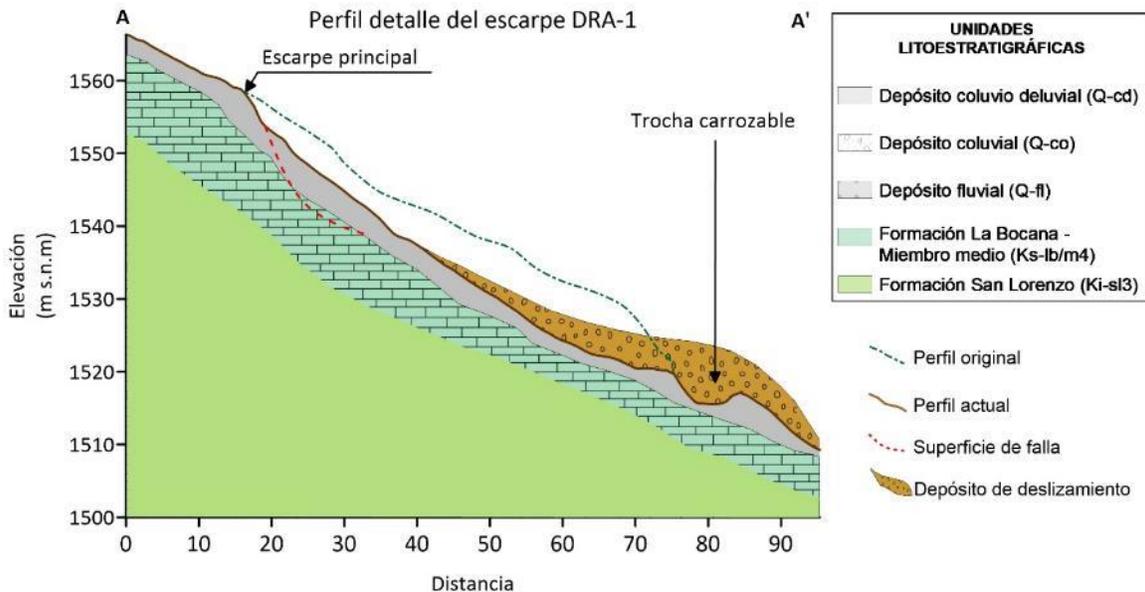


Figura 17. Sección transversal del deslizamiento y del escarpe principal.

Los trabajos de campo se complementaron mediante la fotogrametría aérea con drone/rpas, donde se obtuvo el modelo digital de terreno (MDT) y la ortofoto de alta resolución (GSD 5 cm), de esta manera se delimitó con mayor precisión la geometría la zona de arranque y la extensión de las grietas que se emplazan de este a oeste con aberturas de hasta 0.10 m,

con profundidad de 0.50 m y desplazamientos de sur a norte (figura 18). Se perdieron 0.75 ha de cultivos y un tramo de 45 m de la trocha carrozable que se utiliza para transportar la producción de cosechas



Figura 18. A. Rocas fuertemente fracturadas. B. Estrías de desplazamiento. C. Trocha carrozable afectada ubicada en el cuerpo del deslizamiento.

5.1.3. Flujo de detritos

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (figura 19).



Figura 19. Vista hacia las quebradas ubicadas en los alrededores del área evaluada.

El flujo de detritos ocurrido en la quebrada Ambasal, se canalizó a través de la quebrada del mismo nombre formando una vertiente aluvio torrencial desde el sector El Gramal hasta el centro poblado Ambasal recorriendo un total de 5.7 km, pudiendo proyectarse varios kilómetros aguas abajo hasta la quebrada Chocan. En los alrededores del área de evaluación se identificaron quebradas que se activan en temporada de lluvias generando flujos de detritos, el principal factor condicionante son las coberturas detríticas y arenosas provenientes de afloramientos muy fracturados (figura 20).



Figura 20. Quebrada Hierba Buena donde se evidencia un cauce erosionado por flujos que se activan en temporada de lluvias.

El flujo de detritos ocurrido en la quebrada Ambasal alcanzó hasta 11 m de ancho y 1.5 m de alto cubriendo parte del puente que comunica al centro poblado evaluado con los caseríos adyacentes.

5.1.4. Flujo de lodo

Los depósitos de lodo recientes en el centro poblado Ambasal, están conformados por matriz de arenas limosas (45%), arcillas (25%) y arenas, gravas y canto (30%) (figura 21). En las laderas se aprecia una cobertura coluvio deluvial producto de antiguos deslizamientos. Además, se aprecian calizas lodolíticas, margas y niveles tobáceos (Formación La Bocana) que se encuentran moderadamente meteorizada y muy fragmentadas, sobre este tipo de litología se aprecia abundante erosión de ladera en cárcavas.

Las precipitaciones pluviales excepcionales, intensas y/o prolongadas podrían generar nuevos flujos de lodos, como los que ocurrieron en los años 2017 y recientemente en marzo del 2022. Los cauces actuales de las quebradas se encuentran colmatados de bloques, gravas y arenas provenientes de antiguos flujos de detritos. Además, existe una gran disponibilidad de material suelto en las laderas, los cuales podrían ser incorporados en los

flujos, ello aumentaría el volumen del flujo y por ende el poder destructivo.



Figura 21. Quebrada Hierba Buena donde se evidencia un cauce erosionado por flujos que se activan en temporada de lluvias.

Mediante la ortofoto generada por medio de levantamiento fotogramétrico, se identificaron 03 flujos de lodos ubicados en la parte alta del cerro Ambasal y que descienden hasta el área urbana del centro poblado.

5.1.5. Derrumbe

Este tipo de caídas se ubican en ambas márgenes de la quebrada Ambasal, abarca 0.64 ha; además, se tipifica como derrumbes, en estados activos latente, con formas de arranque irregular discontinua. La longitud general de la zona de arranque donde se observan derrumbes activos mide 75 m con un corto recorrido hasta el cauce actual (figura 22).



Figura 22. Derrumbes en la margen derecha de la quebrada Ambasal.

Hacia el este del centro poblado Ambasal se identificaron 16 derrumbes activos con desnivel entre la escarpa principal y el pie de 8 m a 12 m. Hacia la quebrada principal se identificaron 04 derrumbes activos con longitudes de arranque variables entre 4 m a 10 m, con desniveles entre la escarpa principal y el pie de 5 m a 10 m. El depósito presenta bloques aislados con tamaños variables entre 0.25 m a 1 m de diámetro, también se identificaron clastos y bloques colgados a media ladera que pueden caer y rodar desencadenados por sismos de regular magnitud.

5.2. Factores condicionantes

Geomorfológico

Las montañas en rocas volcánico – sedimentarias configuran laderas con pendientes fuertes a muy escarpadas que abarcan el 51% del área de estudio, mientras que, las pendientes muy fuertes a muy escarpadas alcanzan el 38% del total evaluado, los cuales hacen un total de 89% de laderas de montañas, sobre las que se cartografiaron deslizamientos antiguos y reciente (DRA), favorecidas por pendiente y gravedad (color azul) (figura 23).

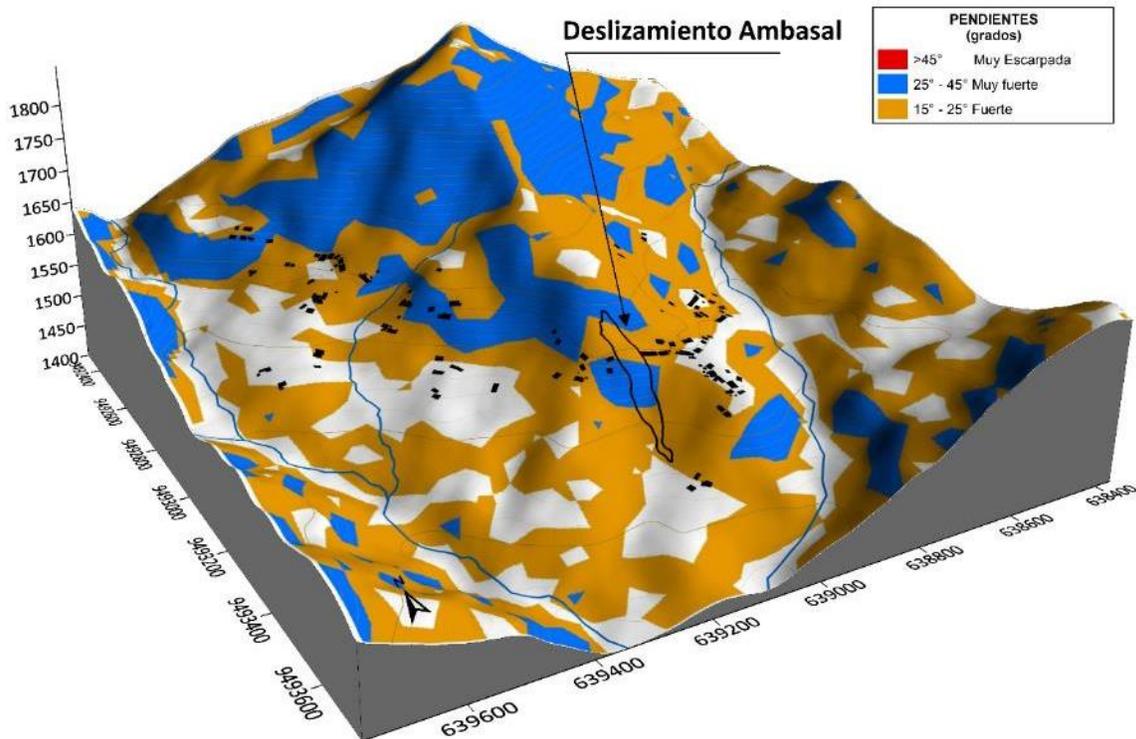


Figura 23. Rangos de pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa.

Litológico

La presencia de calizas lodolíticas y margas intercaladas con calizas y algunos niveles tobáceos que le dan un aspecto blanquecino y amarillento tienen condiciones geomecánicas desfavorables, caracterizadas por el fuerte fracturamiento con aperturas de hasta 3 cm.

En los cortes de talud, se diferenciaron los grados de meteorización de acuerdo con la profundidad, las rocas más superficiales se encuentran completamente meteorizadas; mientras que, a partir de 2 m de profundidad las rocas se encuentran muy meteorizadas.

Por otro lado, los materiales y sedimentos de cobertura coluvio deluvial se encuentran poco consolidados, en mayor porcentaje conformados por una granulometría gruesa: bolos (10%), cantos (20%), gravas (15%), gránulos (35%) de formas subangulosas a angulosas; todo envuelto en una matriz arenosa (20%).

5.3. Daños por deslizamiento, flujos y derrumbes

A continuación, se describen los daños reportados por la oficina de local de INDECI y el personal de la Oficina de Gestión de Riesgos de la Municipalidad Provincial de Ayabaca:

5.3.1. Viviendas

El deslizamiento DRA-1, causó la destrucción total de 03 viviendas ubicadas en la trocha carrozable que comunica el centro poblado Ambasal con caseríos y anexos. (figura 24).



Figura 24. Tramo de 45 m de largo de la trocha carrozable afectada. Fuente: INDECI-Ayabaca.

5.3.2. Trocha carrozable

El deslizamiento DRA-1, causó el daño de la trocha carrozable que comunica el centro poblado Ambasal con caseríos y anexos. El cuerpo del deslizamiento tuvo desplazamientos de hasta de 10 a 15 m con dirección sur a norte, la masa alcanzó hasta 3.5 m de alto que

imposibilitó la inmediata habilitación del pase y la interrupción de la vía, el tramo afectado tiene 44 m de largo (figura 25).



Figura 25. Tramo de 45 m de largo de la trocha carrozable afectada. Fuente: INDECI-Ayabaca.

5.3.3. Terrenos de cultivos

En total los deslizamientos recientes y activos DRA-1, causó la pérdida total de 132 ha de cultivos, donde se han proyectado un total de 20 ha que podrían ser afectados ante reactivaciones (figura 26).



Figura 26. Cultivos hacia la parte superior del escarpe y canales de riesgo sin revestir.

6. CONCLUSIONES

1. En el centro poblado Ambasal afloran calizas lodolíticas y margas con niveles tobáceos fuertemente fracturados y muy meteorizados, mostrando condiciones geomecánicas muy desfavorables. Además, los depósitos de cobertura tienen una componente principalmente granular (bolos, cantos, gravas) en una matriz arenosa y cuyas capas se encuentran poco compactas, porosas y deleznable.
2. Morfológicamente, el área de evaluación se ubica sobre una montaña en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs) con pendientes fuertes a muy escarpadas (15° a 45°) que condicionan la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes. Las vertientes o piedemontes coluvio-deluviales (V-cd), tienen pendientes fuertes a muy fuertes (25° a 45°). La vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd) originada por el deslizamiento activo (DRA-1), tiene superficies con pendientes muy escarpadas debido a la remoción de la ladera.
3. En el centro poblado Ambasal, se identificaron 03 deslizamientos antiguos, un deslizamiento reciente de tipo rotacional activo (DRA-1) y 16 derrumbes. Cabe mencionar que el DRA-1 presenta grietas, hundimientos y leves desplazamientos que iniciaron en el mes de marzo; con las siguientes dimensiones: 220 m de largo y 44 m de ancho, el escarpe alcanzó 76 m de largo y 1.5 m de alto, los saltos variaron de 1 a 2.5 m, el desplazamiento del cuerpo del deslizamiento se estimó en más de 25 m, estos factores destruyeron completamente la trocha carrozable.
4. Los flujos de detritos ocurridos en la quebrada Ambasal se activaron durante el mes de marzo y abril del 2022 en temporada de lluvias y afectaron vías de acceso y terrenos de cultivos. Los flujos de lodos tienen una matriz principalmente areno limosa (45%) y arcillosa (25%); mientras que, la parte granular representa el 30% del flujo.
5. Los derrumbes se ubican en ambas márgenes de la quebrada Ambasal, y se originan en relieves con fuertes pendientes y afloramientos de calizas lodolíticas muy fracturadas.
6. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área de evaluación, se considera que, el centro poblado Ambasal, tiene **Peligro Alto** ante la ocurrencia de deslizamientos y derrumbes; y **Peligro Medio** por flujos de detritos y lodos.

7. RECOMENDACIONES

1. Realizar el banqueteo de la ladera afectada por el deslizamiento DRA-1, con la finalidad de reducir la pendiente muy fuerte (25° a 45°) a moderada (°5 a 15°), la cual tiene que estar complementada con un adecuado drenaje pluvial, zanjas de coronación y derivación impermeabilizadas. Esta actividad debe ser realizada por un geotecnista especializado en estabilidad de taludes.
2. En los trabajos de rehabilitación de la trocha carrozable se debe realizar la compactación del terreno con un adecuado control geotécnico, implementar esta medida con drenaje pluvial impermeabilizado (cunetas). Esta recomendación debe estar supervisada por un especialista en geotecnia.
3. Evacuar las viviendas e infraestructuras de salud y educación que se encuentren próximas a los deslizamientos activos identificados, tomar en cuenta el mapa de peligros geológicos.
4. Restringir la construcción o implementación de nuevos canales, además los canales afectados deben ser eliminados y/o derivados; de igual forma los ubicados en la parte alta y media del deslizamiento, deben ser impermeabilizados por medio de coberturas de PVC.
5. Implementar un programa de monitoreo de las laderas adyacentes al centro poblado Ambasal, con la finalidad de medir de forma periódica las grietas, hundimientos y escarpes identificados.
6. Se debe implementar el cambio del tipo de cultivo, riego tecnificado y uso controlado del agua para riego, ya que la zona tiene muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.



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



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

8. BIBLIOGRAFÍA

Cobbing, E.J.; Sánchez, A.; Martínez, W. & Zárate, H. (1996) - Geología de los cuadrángulos de Huaraz, Recuay, La Unión, Chiquián y Yanahuanca. Hojas: 20-h, 20-i, 20-j, 21-i, 21-j. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 76, 297 p.

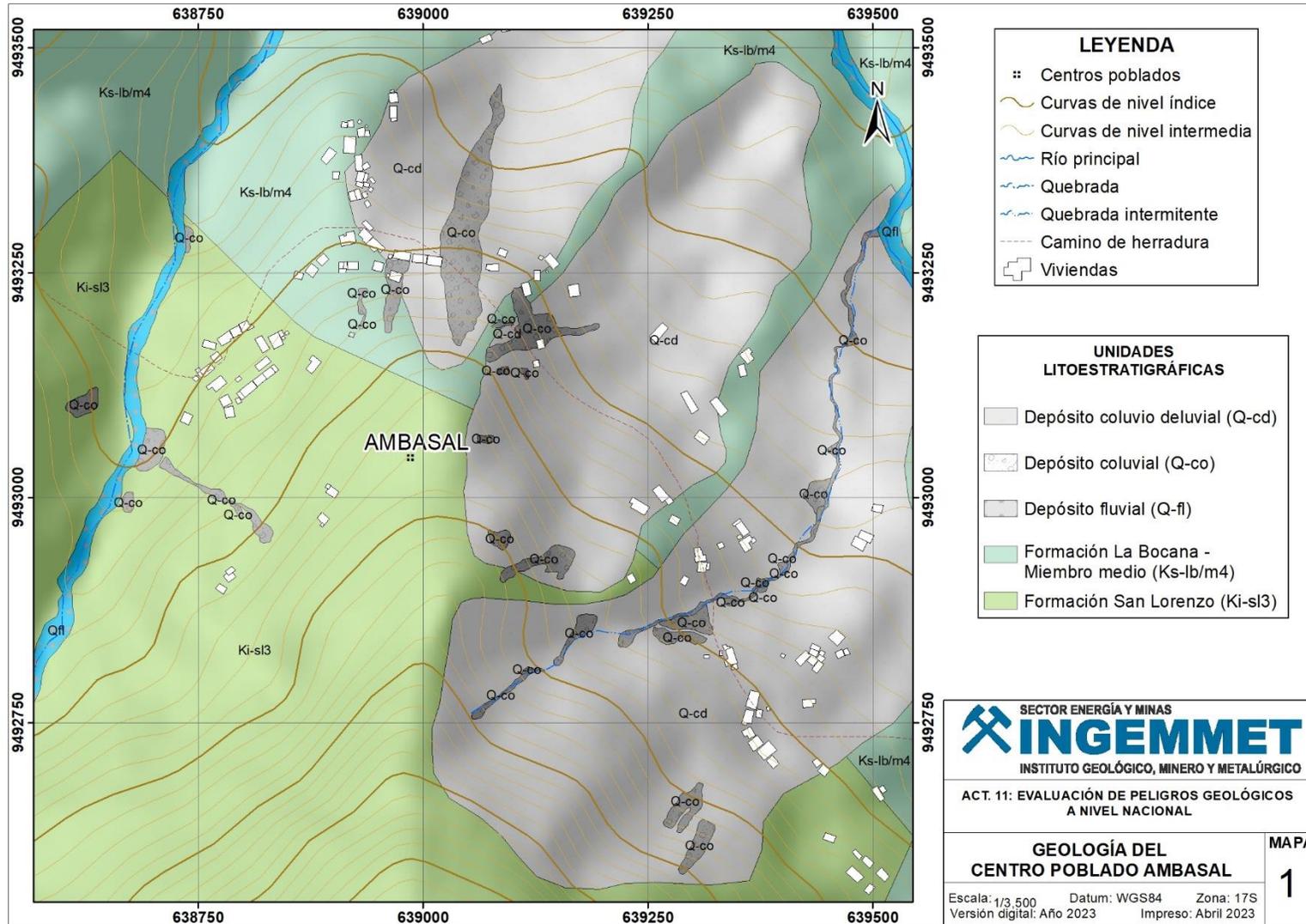
Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.

Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN.

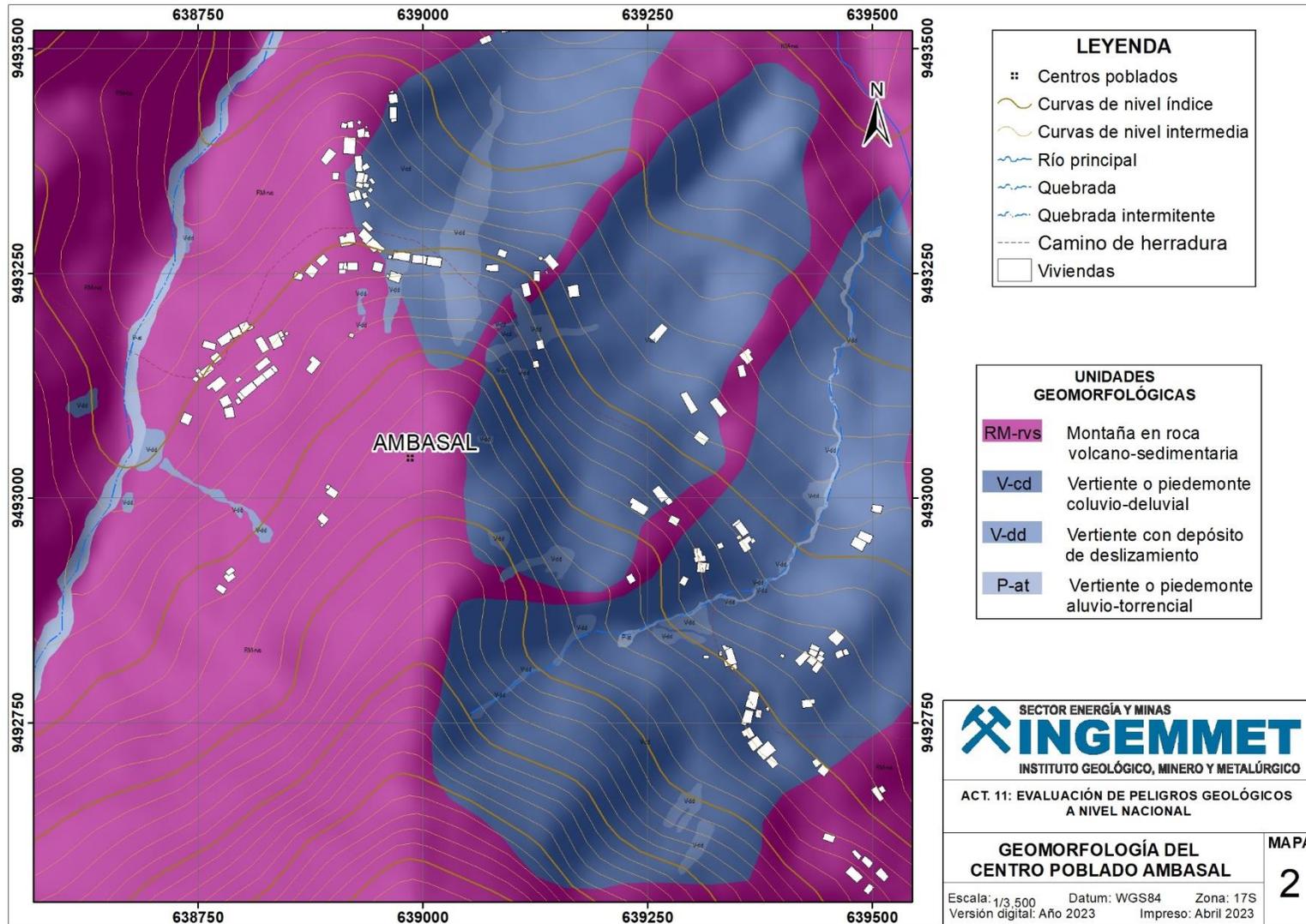
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

Zavala, B.; Valderrama, P.; Pari, W.; Luque, G. & Barrantes, R. (2009). Riesgo Geológico en la Región Ancash. INGEMMET Boletín N° 38, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica.

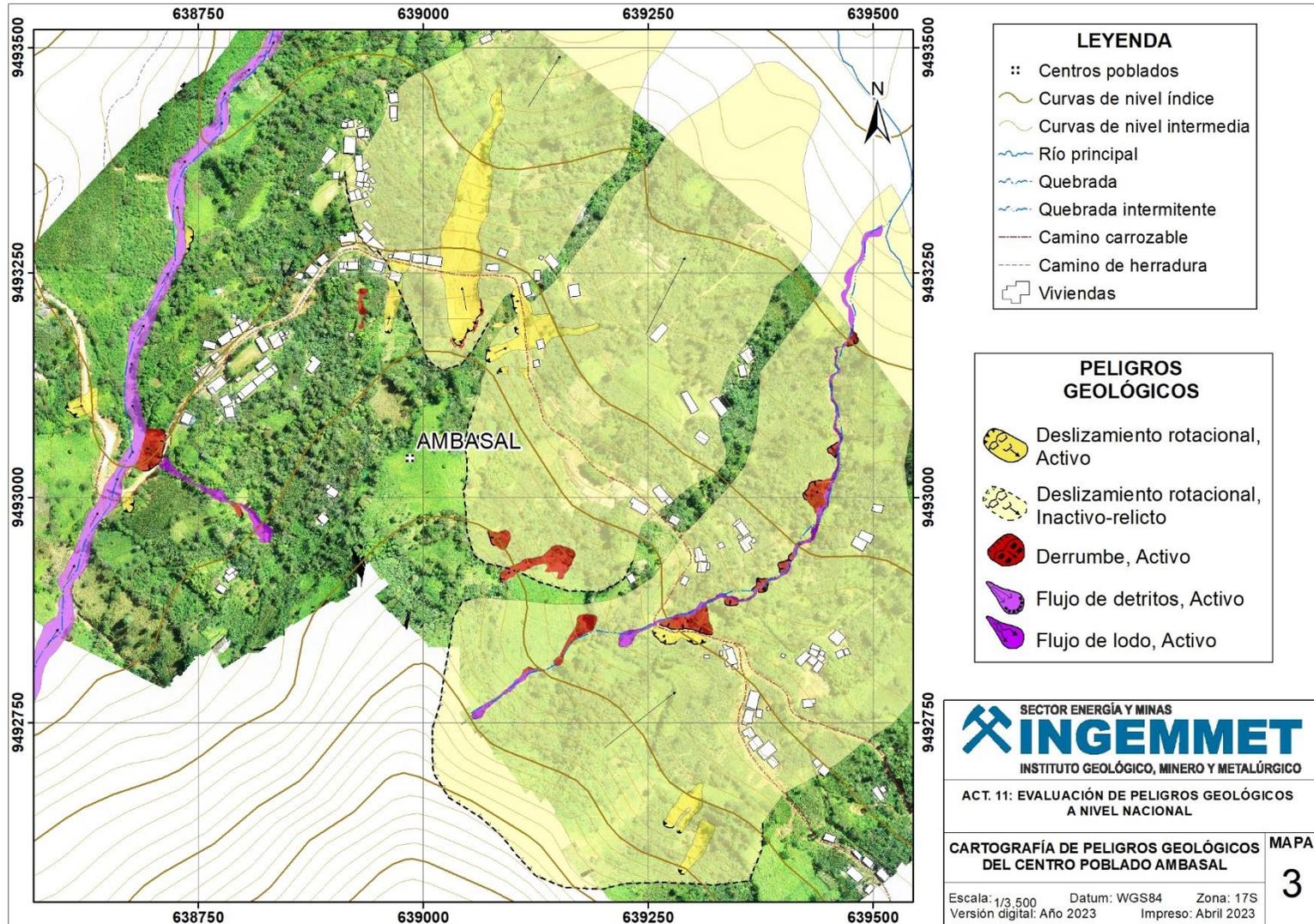
ANEXO 1: MAPAS



Mapa 1. Geología del área evaluada.



Mapa 2. Geomorfología del área evaluada.



Mapa 3. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

a. Geometría de la ladera

Abatimiento de la pendiente

La disminución de la pendiente de los taludes es uno de los métodos más utilizados para mejorar su estabilidad y en ocasiones es la primera opción a considerar. Al igual que con otros métodos, éste no es de uso universal y su efectividad puede variar de un sitio a otro. La disminución de la pendiente puede ser efectivo en deslizamientos rotacionales, pero generalmente tiene muy poco efecto o puede tener un efecto negativo en deslizamientos de traslación.

Al disminuir la pendiente del talud, se disminuyen las fuerzas actuantes y adicionalmente el círculo crítico de falla se hace más largo y más profundo aumentándose en esta forma el factor de seguridad. El abatimiento se puede lograr por corte o por relleno (figura 26). Al disminuir la pendiente del talud debe analizarse si al bajar la pendiente no se está facilitando la activación o reactivación de fallas profundas. En todos los casos es conveniente la realización de análisis de estabilidad para determinar los efectos reales de la disminución de la pendiente.

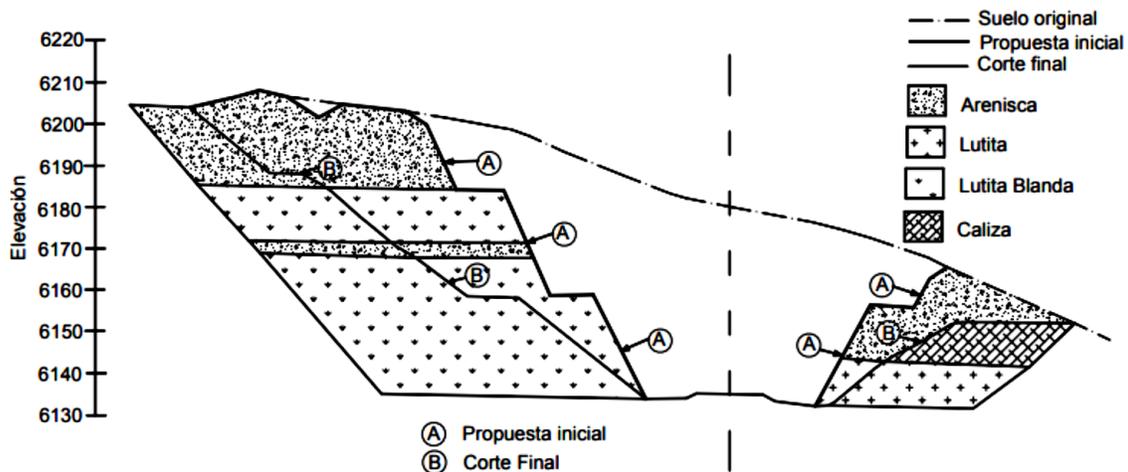


Figura 26. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (Gonzáles, 2002).

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

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

Una de las técnicas más utilizadas para la estabilización de taludes es la conformación o diseño de la morfología del talud (tabla 4). Al modificar la forma de la superficie del talud,

se puede lograr un equilibrio de masas, que reduzca las fuerzas que producen el movimiento y que aumente la longitud del círculo crítico de falla.

Tabla 4. Métodos de conformación topográfica del talud

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

Fuente: Suarez, 1996.

Terraceo del talud

El terraceo se puede realizar con el propósito de controlar la erosión y facilitar el establecimiento de la vegetación, o para aumentar el factor de seguridad.

La altura de las gradas es generalmente de 5 a 7 metros y cada grada debe tener una cuneta revestida para el control del agua superficial. El sistema de cunetas a su vez debe conducir a una estructura de recolección y entrega con sus respectivos elementos de disipación de energía. Las terrazas son muy útiles para control de aguas de escorrentía. Al construir las terrazas, el talud puede quedar dividido en varios taludes de comportamiento independiente, produciéndose taludes estables.

Para el diseño de bermas y pendientes se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Formación geológica.** A mayor competencia de la roca se permiten mayores pendientes y mayores alturas. Las areniscas, calizas y rocas ígneas duras y sanas, permiten taludes casi verticales y grandes alturas. Los esquistos y lutitas no permiten taludes verticales. Se deben colocar bermas anchas en los sitios de cambios bruscos de litología.
- **Meteorización.** Al aumentar la meteorización se requieren taludes más tendidos, menores alturas entre bermas y mayor ancho de las gradas. Los materiales muy meteorizados requieren de taludes inferiores a 1H: 1V, y en la mayoría de las formaciones geológicas no se permiten alturas entre bermas superiores a 7.0 metros y requieren anchos de berma de mínimo 4.0 metros.
- **Microestructura y estructura geológica.** A menos que las discontinuidades se encuentren bien cementadas, las pendientes de los taludes no deben tener ángulos superiores al buzamiento de las diaclasas o planos de estratificación. Entre menos espaciadas sean las discontinuidades se requieren pendientes menores de talud.

Para materiales muy fracturados se requieren taludes, alturas y bermas similares a los que se recomiendan para materiales meteorizados.

- **Niveles freáticos y comportamiento hidrológico.** Los suelos saturados no permiten taludes superiores a 2H: 1V, a menos que tengan una cohesión alta.
- **Sismicidad.** En zonas de amenaza sísmica alta no se deben construir taludes semiverticales o de pendientes superiores a 1/2H:1V, a menos que se trate de rocas muy sanas.
- **Factores antrópicos.** En zonas urbanas no se recomienda construir taludes con pendientes superiores a 1H: 1V y las alturas entre bermas no deben ser superiores a 5.0 metros.
- **Elementos en riesgo.** Los taludes con riesgo de vidas humanas deben tener factores de seguridad muy altos.

Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (Suárez, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.
- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión