

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7250

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DERRUMBE EN LOS CASERÍOS DE APANGOYA Y BELLO HORIZONTE

Departamento Cajamarca
Provincia San Ignacio
Distrito San José de Lourdes



ABRIL
2022

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR DERRUMBE EN LOS CASERÍOS DE APANGOYA Y BELLO HORIZONTE

(Distrito San José de Lourdes, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca)

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Segundo Nuñez Juarez

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). Evaluación de peligros geológicos por derrumbe en los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte. Distrito San José de Lourdes, provincia San Ignacio, departamento Cajamarca. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7250, 42 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1. Objetivos del estudio	6
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores.....	6
1.3. Aspectos generales	10
1.3.1. Ubicación	10
1.3.2. Accesibilidad.....	11
1.3.3. Clima	11
2. DEFINICIONES	12
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	13
3.1. Unidades litoestratigráficas	13
3.1.1. Formación Oyotún (Jm-o).....	13
3.1.2. Depósito coluvio - deluvial (Q-cd).....	14
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	15
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE).....	15
4.2. Pendientes del terreno	15
4.3. Unidades geomorfológicas	16
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa.....	17
5.1.1. Derrumbe de Apangoya	17
5.1.2. Erosión de ladera	22
5.1.3. Reptación de suelos	23
6. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD.....	24
6.1. Factores condicionantes.....	24
6.2. Factores desencadenantes	24
6.3. Otros factores antrópicos	24
6.4. Clasificación geomecánica	25
7. MODELAMIENTO	28
7.1. Información base	28
7.2. Parámetros	29
7.3. Resultados.....	29
8. CONCLUSIONES.....	32
9. RECOMENDACIONES	34
10. BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXO 1: MAPAS	36
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN.....	40
ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS.....	42

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por derrumbes, deslizamientos y reptación de suelos y otros peligros geológicos de tipo erosión de ladera, realizado entre los caseríos de Bello Horizonte y Apangoya, perteneciente a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca. 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 (local, regional y nacional).

El caserío de Apangoya se encuentra asentado sobre el cuerpo de un deslizamiento antiguo, con reactivaciones en forma de derrumbes, procesos de reptaciones y erosiones de ladera; estos depósitos están compuesto por bloques (15%), gravas (20%), arenas (35%), arcillas y limos (30%), el primero con diámetros de hasta 1.8 m, se presentan consolidado, denso y compacto. Mientras que, Bello Horizonte, se ubica en la cima de montaña, conformado por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, se presentan de moderada a altamente meteorizada, y mediana a muy fracturadas, generando bloques de 0.5 m en promedio, con espaciamiento entre las fisuras de 0.30 a 0.6 m y buzamiento preferencial al SE. Son rocas con resistencia a la compresión simple que varían de 25-50 Mpa.

El contexto morfológico está conformado por un relieve variable y accidentado debido a los procesos de remoción en masa suscitados en el pasado, formando terrenos de formas escalonadas y laderas de pendientes medias (5°) en el caserío Apangoya y escarpadas (45°) hacia el derrumbe reactivado, con un cambio a pendientes abruptas (85°) en los taludes verticalizados, lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

El 10 de febrero, aproximadamente a las 5 p.m., en la ladera noroeste del cerro Bello Horizonte se activó un derrumbe cubriendo un área aproximada de 3.7 Ha, comprometiendo parte del primer nivel de la trocha carrozable, en un tramo de 5.7 m. El evento continúa activo y latente, con altas probabilidades de que se deslice todo el ancho de la trocha carrozable debido a la presencia de agrietamientos longitudinales, localizados a 1 m de la corona.

Para estimar la calidad de roca, se realizaron dos estaciones geomecánicas, en rocas volcánico – sedimentarias. Los valores obtenidos, de la estación geomecánica 1, en base a la clasificación RMR, muestra valor de 54, de acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad. Mientras que, el análisis realizado en la estación geomecánica 2, muestra un valor de 29, considerada como roca de mala calidad, estos requieren trabajos de corrección y protección.

El modelamiento realizado con el software Morpho 2DH, en el área adyacente al flanco derecho - superior del derrumbe reactivado, muestra alturas máximas de 10 m entre la zona media y más distal. Debido a la morfología de la zona y la presencia de un afloramiento rocoso de composición andesítica, en el segundo 3 el evento se divide en dos brazos, el primero en dirección noreste; mientras que el segundo brazo se desplaza en dirección sureste, llegando hasta el cuarto nivel de la trocha carrozable, para luego desviarse en dirección noreste, por lo que no llegaría hasta el caserío de Apangoya.

La reactivación del evento ocasionó la pérdida de 2 vidas humanas que se encontraban realizando trabajos en la vía vecinal que une a los caseríos de Apangoya – Rumichina y

comunidades nativas. Cabe mencionar que, esta vía corta la ladera en dos niveles, siendo afectado un tramo de 90.4 m del segundo nivel.

Tomando en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica actual, se determina que, los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte, son considerados como **zona crítica y de Peligro Alto** a movimientos en masa de tipo derrumbes y deslizamientos; que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos y lluvias intensas y/o prolongadas.

Finalmente, se recomienda monitorear de forma continua y visual la presencia de nuevos agrietamientos en la zona posterior a la corona y áreas adyacentes al flanco derecho del derrumbe. Además, evitar realizar cortes de talud en el cuerpo del deslizamiento antiguo, como también prohibir la extracción de material para agregados.

De continuar el avance retrogresivo del evento, considerar reubicar el colegio y posta de salud del caserío Bello Horizonte.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de San José de Lourdes, según Oficio N° 041-2022-MDSJL/A, en el marco de nuestras competencias se realizó una evaluación de peligros geológicos por derrumbe en los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte, que ocasionó pérdida de vidas humanas y materiales, así como también, el pase peatonal y vehicular en el tramo del camino vecinal que une a los caseríos Apangoya-Rumichina y comunidades nativas.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Guisela Choquenaira Garate y Segundo Núñez Juárez, para realizar la evaluación de peligros geológicos, el 4 y 5 de marzo del 2022.

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 terrestres y aéreas), la cartografía geológica y geodinámica, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa en los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte, que compromete infraestructura vial y viviendas.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos evaluados en la etapa de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el distrito de San José de Lourdes, se tienen:

- A. Informe técnico. Primer reporte “Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Cajamarca” (Zavala, 2007), determinó a los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte como **Zonas Críticas**, debido a la peligrosidad que representa ante la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos (cuadro 1). Además, señala que, desde el

año 1998, se recomendó la reubicación el caserío referido por presentar agrietamientos en las paredes de las viviendas (cuadro 2).

Cuadro 1. Descripción de las zonas críticas identificadas en la provincia de San Ignacio.

Área o sector	Peligros actuales o futuros	Vulnerabilidad o daños probables	Recomendaciones
Apangoya y Bello Horizonte (San José de Lourdes)	Deslizamiento y derrumbes	Afectó poblado de Apangoya	Se ha reubicado el poblado.

Cuadro 2. Estudios geológicos efectuados en los últimos años sobre emergencias presentadas en la región Cajamarca.

Peligro o lugar	Características principales	Fecha de activación -años
Deslizamiento de Apangoya	Causadas por lluvias estacionales que infiltran y por la naturaleza del suelo que conforma la cobertura superficial, fuerte pendiente del terreno, presenta una zona de arranque de forma sinuosa, las grietas tienen 1.50 - 3.60 m de profundidad y los saltos en la corona varían 0.40-4.5 m. Se ha reubicado el poblado (figura 1).	Abril de 1998, compromete sectores del caserío con derrumbes de viviendas, y agrietamiento de otras viviendas, y terrenos de cultivo.



Figura 1. Vistas comparativas de los caseríos Apangoya y Bello Horizonte afectados por un deslizamiento de tierras en la margen derecha del río Chirinos (1998 y 2007). El poblado ha sido reubicado, gracias a la evaluación oportuna del movimiento en masa en 1996.

- B. Boletín N° 44, serie C, “Riesgos geológicos en la región Cajamarca (Zavala et al., 2011), menciona que, en el caserío de Apangoya se identificaron derrumbes y deslizamientos debido a las lluvias intensas, condicionado por el sustrato rocoso muy fracturado, altamente meteorizado y laderas empinadas (45°).
El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa presentado en un mapa a escala 1: 250 000, donde el caserío de Apangoya presenta alta a muy alta susceptibilidad (figura 2). Entendiéndose, la susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos.
- C. En la “Memoria descriptiva de los cuadrángulos de Río Santa Águeda (10-f), San Ignacio (11-f) y Aramango (11-g) (De la Cruz, et al., 1995); describe la geología y geomorfología del caserío Apangoya, a escala 1: 100 000, resaltando las características litoestratigráficas de la Formación Oyotún y la conformación de unidades geomorfológicas de montañas modeladas en rocas volcánico - sedimentarias.

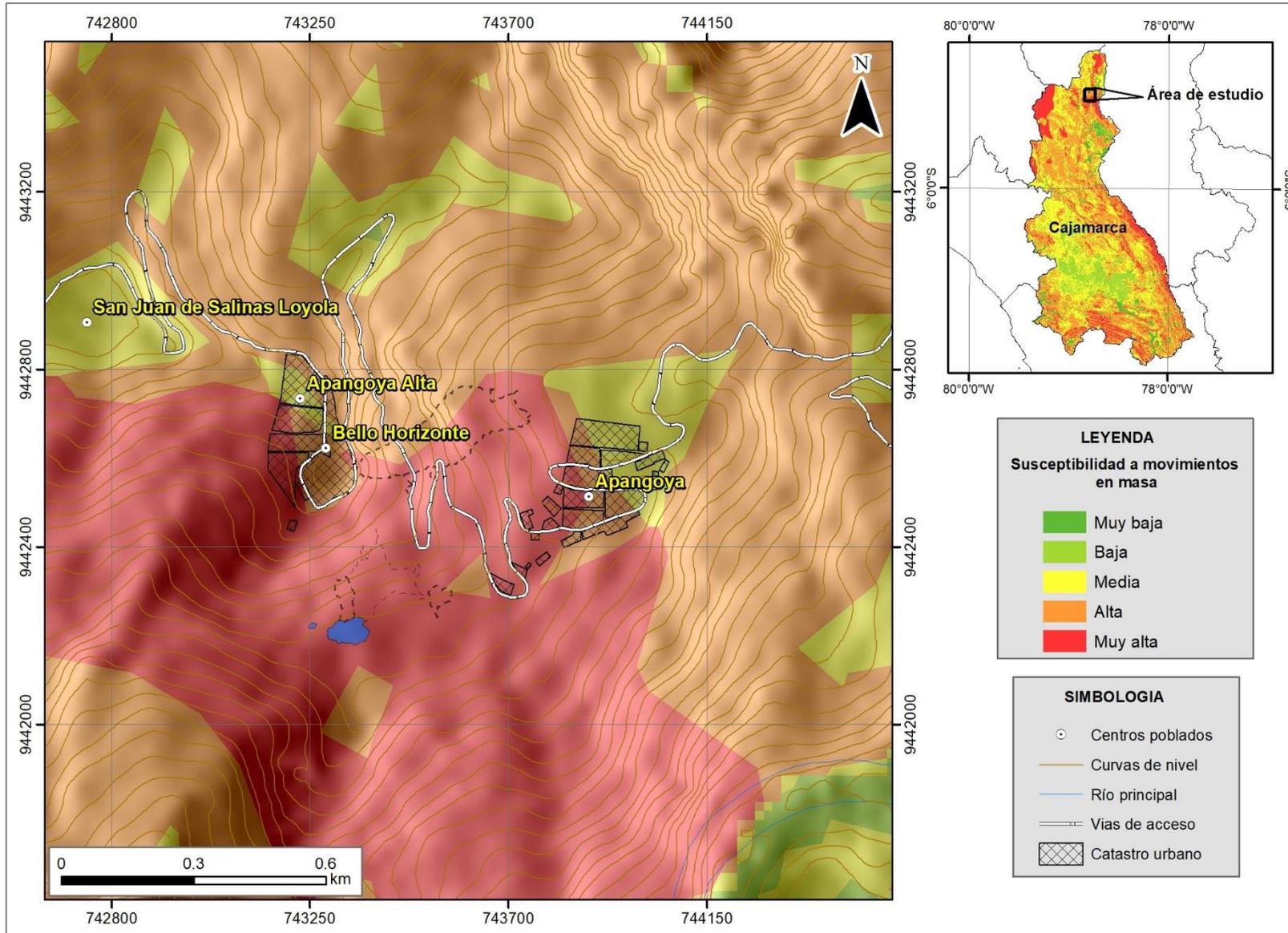


Figura 2. Rangos de susceptibilidad a movimientos en masa de los caseríos Apangoya y Bello Horizonte. Fuente: Zavala et al., 2011.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada se localiza en la margen derecha del río Chirinos, a 25 km, al noroeste del centro poblado Calabozo. Políticamente, pertenece al distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca (figura 3); en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17 s) (cuadro 3):

Cuadro 3. Coordenadas del área evaluada

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	743192	9443042	5° 2'6.53"	78°48'23.82"
2	744452	9442966	5° 2'8.86"	78°47'42.92"
3	744151	9441742	5° 2'48.73"	78°47'52.55"
4	742978	9442106	5° 2'37.01"	78°48'30.66"
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	743797	9442537	5° 2'22.89"	78°48'4.13"

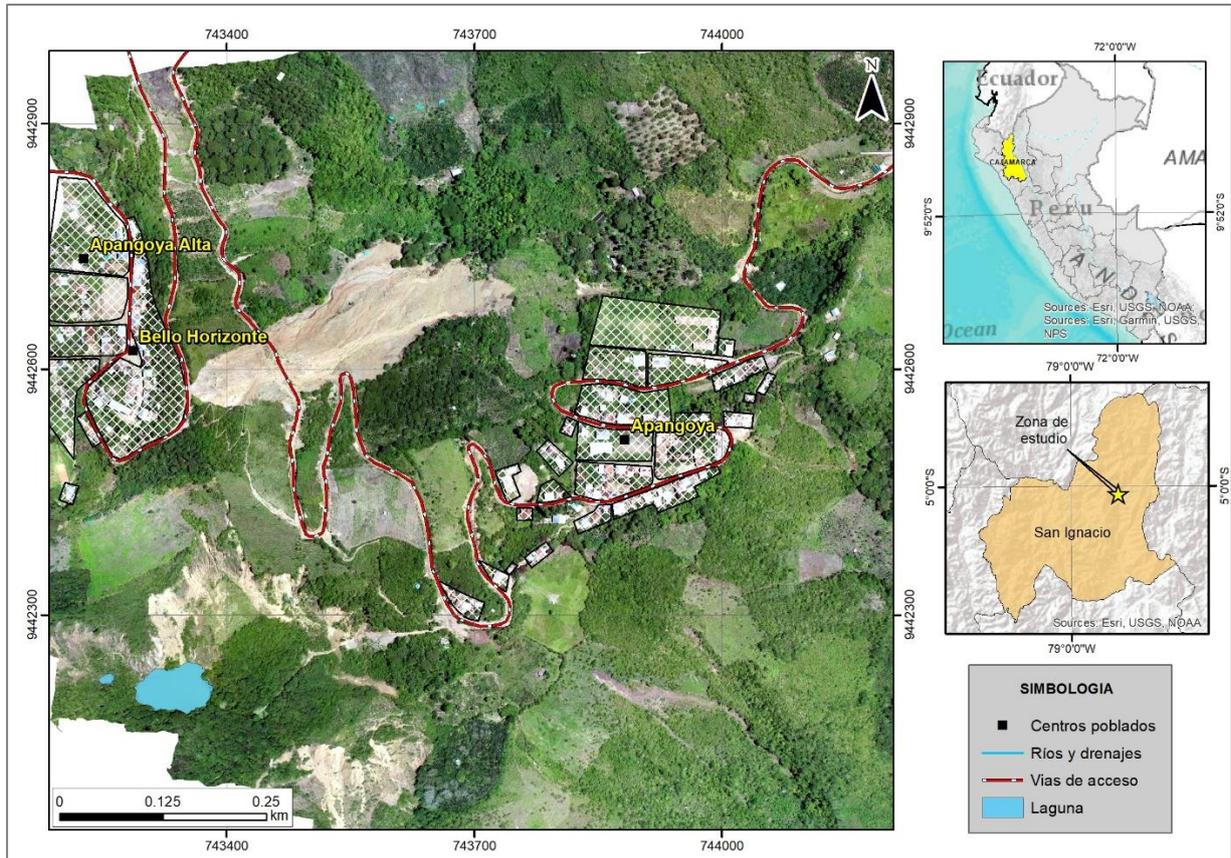


Figura 3. Ubicación del área evaluada, distrito de San José de Lourdes, provincia de San Ignacio, departamento Cajamarca.

1.3.2. Accesibilidad

Se accede por vía terrestre desde la ciudad de Lima (Ingemmet-sede central), mediante la siguiente ruta (cuadro 4):

Cuadro 4. Rutas y accesos al área evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima – Jaén	Vía aérea	-	1h 30 minutos
Jaén – San José de Lourdes	Carretera asfaltada	109	2h 25 minutos
San Jose de Lourdes - Calabozo	Trocha carrozable	203	2h 10 minutos
Calabozo – Bello Horizonte - Apangoya	Trocha carrozable	90	30 minutos

1.3.3. Clima

Según la clasificación de Thornthwaite (SENAMHI, 2020), el área evaluada corresponde a un clima del tipo semiseco, cálido y húmedo, con máximas precipitaciones entre los meses de enero, febrero, marzo y abril, y mínimas, durante Julio a Setiembre. En los meses siguientes, la precipitación comienza a ascender hasta alcanzar los volúmenes del siguiente ciclo anual. Presentan temperaturas promedio anual máxima de 26 °C, mínima de 14 °C y la temperatura promedio anual media es 15 °C.

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi, 2022), en la estación meteorológica San Ignacio, ubicado a 1270 m s.n.m., en el mes de enero se registró 96.2 mm de precipitación pluvial acumulada y 11.8 mm hasta el 10 de febrero, por lo cual se infiere que el derrumbe ocurrido en el caserío Apangoya, fue detonado por las lluvias prolongadas registradas días previos al evento. Además, según fuente de datos meteorológicos y pronóstico del tiempo del servicio de aWhere (figura 4), entre enero al 10 de febrero se registró hasta 32 mm en un día.

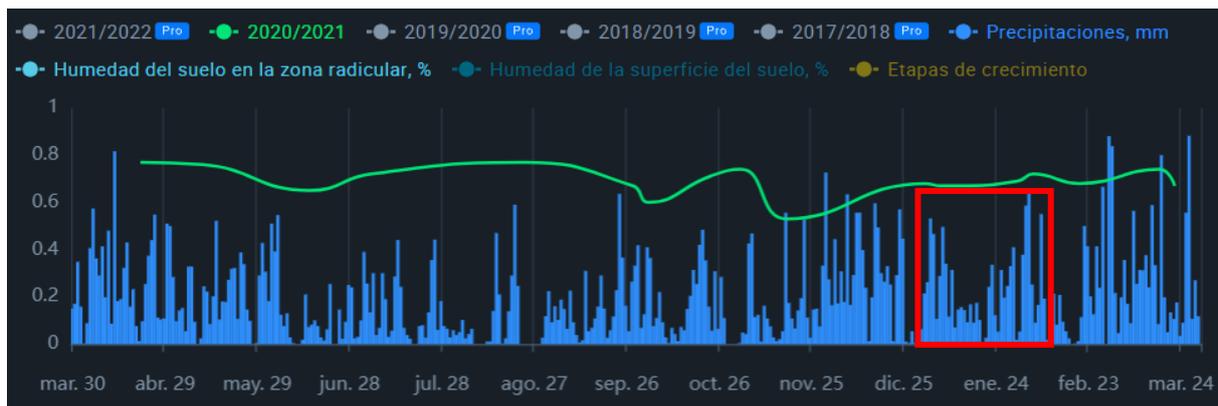


Figura 4. Precipitaciones según registros satelitales awhere, en el caserío Apangoya.

2. DEFINICIONES

En el presente glosario se describe según los términos establecidos en el Proyecto Multinacional Andino - Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

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

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.

DERRUMBE: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

EROSIÓN DE LADERAS: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

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.

FRACTURA (crack). Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

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).

REPTACIÓN DE SUELOS: Movimiento lento del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La **reptación** puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

ZONAS CRÍTICAS: Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico entre los caseríos Apangoya y Bello Horizonte se desarrolló en base a la información obtenida en campo y la Carta Geológica del cuadrángulo de San Ignacio – hoja 11-f, (De la Cruz et al., 1995), a escala 1/100 000, donde se presentan rocas volcánico - sedimentarias del Jurásico medio y depósitos coluvio – deluviales del Cuaternario, éstos últimos a través de la cartografía y en base a la interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas se completa en el mapa geológico, presentado en el mapa 1: Anexo 1.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran entre los caseríos Apangoya y Bello Horizonte corresponden a rocas de origen volcánico - sedimentario de las Formación Oyotún (Jm-o3). Estas unidades se encuentran cubiertas por depósitos antrópicos, coluvio – deluviales y residuales, que han sido acumulados desde el Pleistoceno hasta la actualidad.

3.1.1. Formación Oyotún (Jm-o)

Aflora ampliamente en los caseríos de Apangoya y Nuevo Horizonte, con extensión norte – sur, conformada por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, con estratificación cruzada. Las primeras se encuentran moderadamente meteorizada y la segunda altamente meteorizada, ambas moderadamente fracturadas a muy fracturada (figura 5).

El plano principal de fracturamiento, encima de la cabecera del derrumbe, buza hacia el noreste (F1), generando bloques de hasta 1.8 m, con espaciamiento entre las fisuras de 0.30 m a 0.6 m. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular a mala calidad.

El espaciamiento entre las fracturas se encuentra rellenas de material fino (limo con arena fina), muy húmedas debido a la infiltración de agua de escorrentía pluvial. Las caras entre las fracturas se presentan de forma ligeramente rugosas.

En la parte media del derrumbe, flanco derecho, se tiene un afloramiento de composición andesítica, altamente meteorizado, con fracturamiento principal en contra de la pendiente.

En el cuadro 5 se muestra las medidas tomadas en campo de las principales familias de fracturamiento en la zona superior del derrumbe.

Esta zona, geodinámicamente, está asociada a derrumbes, deslizamientos y caída de rocas, con probabilidad de falla en cuña.

Cuadro 5. Medidas registradas en rocas volcánicas – sedimentarias de la Formación Oyotún.

Familia de fracturas	Azimut	Buzamiento
Dique	N 55°	70 SE
F1	N 5°	53 SE



Figura 5. Afloramiento de brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo.

3.1.2. Depósito coluvio - deluvial (Q-cd)

Se encuentran dispuestos en la ladera noroeste del cerro Bello Horizonte, debido a la acción de la gravedad e influencia de aguas de escorrentía superficial. Están compuestos por bloques y gravas de roca volcánica - sedimentaria, con diámetros que varían de 0.5 m a 1.8 m, de formas angulosas a subangulosas, inmersos en escasa matriz arenoso-arcilloso (fotografía 19).



Fotografía 1. Depósito coluvio deluvial, compuestos por bloques y gravas de roca volcánica - sedimentaria, con diámetros que varían de 0.5 m a 1.2 m.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

El área de estudio comprende elevaciones que van desde los 680 m s.n.m. hasta los 1375 m s.n.m., clasificados en cinco niveles altitudinales, con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de alturas. El caserío de Apangoya se encuentra comprendida entre 983 m s.n.m y 1092 m s.n.m.; mientras que, el caserío de Bello Horizonte se encuentra localizado entre las alturas de 1214 m s.n.m. y 1375 m s.n.m. (figura 6).

4.2. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En el mapa 2 (Anexo 1), se presenta el mapa de pendientes del actual relieve donde se encuentra asentado el caserío de Apangoya, elaborado en base al modelo de elevación digital de 12.5 m de resolución (USGS). Debido a la configuración morfológica se presentan con mayor predominio laderas con pendientes moderadas (5° - 15°) a fuertes (15° - 25°), con un cambio abrupto a terrenos de pendiente muy escarpada ($>45^{\circ}$).

En la cima de la montaña, donde actualmente se encuentra el caserío de Bello Horizonte, se presentan pendientes menores a 5° , hacia el noreste, el relieve cambia a una topografía accidentada, con inclinación que varía de 25° a 45° , hasta el caserío Apangoya, para luego atravesar superficies moderadas a ligeramente inclinada.

La intervención antrópica ha modificado las laderas con la finalidad de construir una trocha carrozable, vía de conexión a pueblos aledaños, originando taludes con pendientes subverticales (60° - 85°), el cual facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

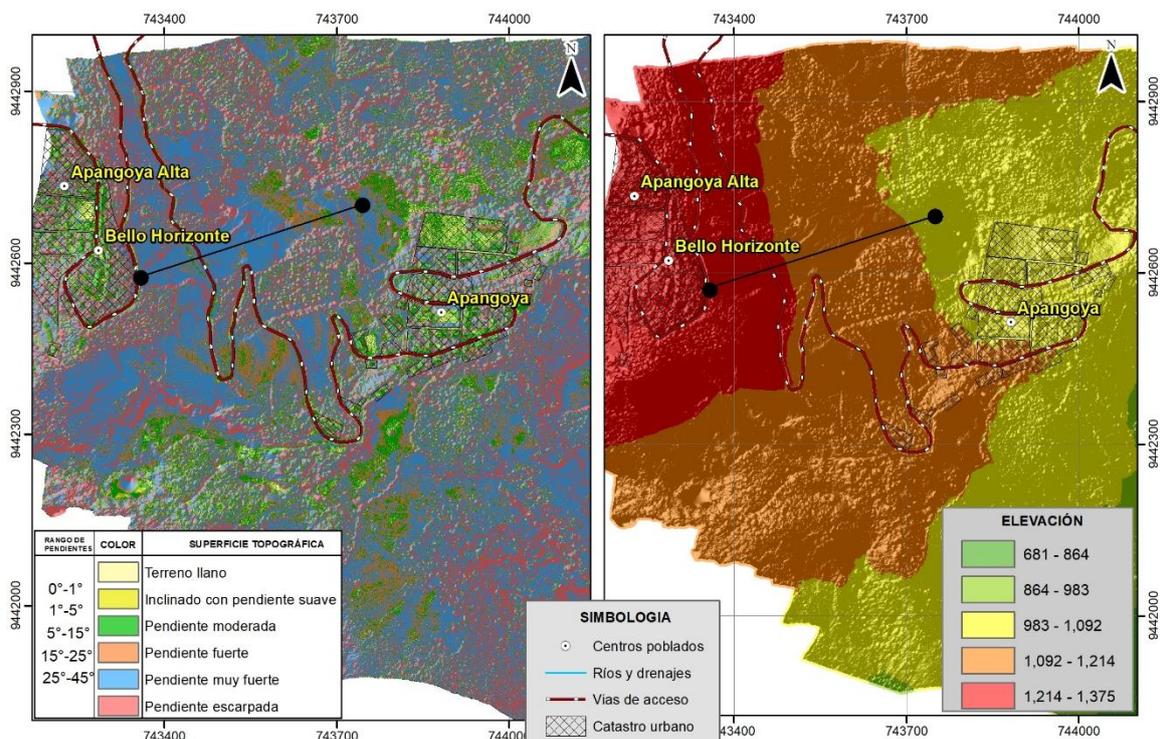


Figura 6. A) Variación de pendientes. B) Modelo digital de elevaciones.

4.3. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas (Anexo 1: Mapa 3), se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez *et al.*, 2020).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Cabe recalcar que, dichas definiciones y unidades establecidas en el mapa geomorfológico regional del departamento de Cajamarca, a escala 1/ 1 000 000 (Ingemmet, 2012), fueron complementadas y modificadas con información obtenida en campo.

4.3.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia las siguientes subunidades:

Subunidad de montañas en rocas volcánico - sedimentarias (RM-rvs): Relieve modelado en secuencias de la Formación Oyotún, conformada por brechas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo. Las montañas que cubren gran parte de la zona de estudio, presentan cimas redondeadas y alargadas, cuyas laderas naturales poseen pendientes que varían de 15° a 45°.

En la ladera noreste del cerro Bello Horizonte, la morfología cambia debido a la antropización (intervención humana), presentando taludes verticalizados (75°)

4.3.1.2. Unidad de piedemonte

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geofomas anteriores, aquí se tienen:

4.3.1.3. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd)

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad y removidos por agua de escorrentía superficial. En el área evaluada, se encuentran cubriendo rocas de origen volcánico - sedimentario, con espesor variable de 0.5 a 1.5 m, poco compactadas.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

El principal peligro activo y latente identificado entre los caseríos Bello Horizonte y Apangoya, corresponden a movimientos en masa tipo derrumbes (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007), producto de la reactivación de un deslizamiento antiguo, suscitado aproximadamente en 1996 (Bilberto, 2007). Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, coadyuvado por la presencia fallas geológicas, así como, a la intervención antrópica (mano del hombre), que conllevó a la activación de movimientos en masa, debido al cambio de topografía del terreno producido por los cortes del talud para la extracción de material para agregado y el trazo de la trocha carrozable, inestabilizando las laderas rocosas y depósitos de eventos antiguos (Anexo 1: Mapa 4).

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

El área evaluada abarca un área aproximada de 40 Ha, representada por una geodinámica muy activa, entre ellos deslizamientos antiguos, derrumbes y procesos de erosión de ladera (figura 7).

5.1.1. Derrumbe de Apangoya

El 10 de febrero, aproximadamente a las 5 p.m., la ladera noroeste del cerro Bello Horizonte se activó en un derrumbe, con una zona de arranque de forma irregular y una distancia de 406 m entre la corona y pie del derrumbe, cubriendo un área de 3.7 Ha, sobre rocas volcánicas, conformado por brechas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, altamente meteorizadas y muy fracturadas; y sobre depósitos de deslizamientos antiguos (figura 8).

La zona de arranque, compuesto por intercalación de arena fina, limos y arcillas negruzcas, con un espesor aproximado de 1.5 m, comprometió parte del primer nivel de la trocha carrozable, en un tramo de 5.7 m; presentándose en una morfología de forma irregular y 45° de inclinación.

En la zona posterior de la zona de arranque, se observó 3 niveles de agrietamientos longitudinales, el primero, presenta cierto desplazamiento y 5 cm de apertura, mientras que el segundo y tercero, localizados a 1 m de la corona, poseen 0.2 cm y 0.1 cm respectivamente de desplazamiento, con altas probabilidades de que se deslice todo el ancho de la trocha carrozable (figura 9).

En la zona media, el evento presenta un ancho de 82.2 m, con actividad retrogresiva en el flanco derecho, debido a la escorrentía e infiltración proveniente del drenaje no canalizado del caserío Bello Horizonte, el cual vierte sus aguas al talud inferior, generando mayor humedecimiento y saturación de agua en esa área del terreno. Parte de aguas discurre por la trocha carrozable, en forma de canal, con un ancho de 1 m, en dirección sur-norte, pasando por la parte posterior de la zona de arranque (figura 10).

Hacia el extremo izquierdo del cuerpo del derrumbe, se observó bloques de formas angulosas, con diámetro mayor a 1 m, arenas, limos y arcillas inmersos en material lodoso, muy inestable al paso peatonal (fotografía 2). Así mismo, en este extremo, se identificó surgencias de agua, proveniente de la cara del derrumbe, el cual se canalizó, discurriendo cuesta abajo (figura 11).

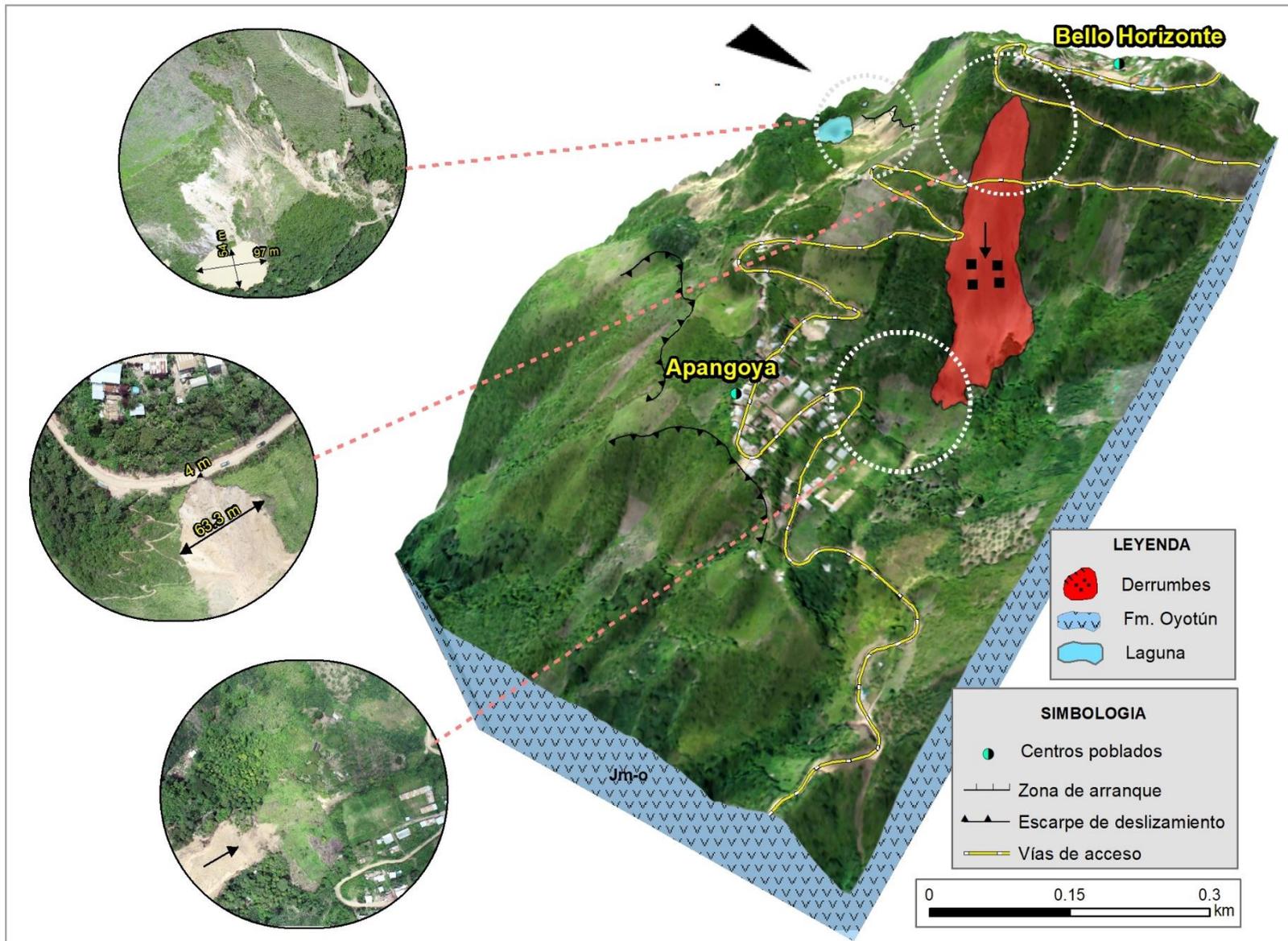


Figura 7. Imagen representativa de la dinámica activa entre los caseríos Bello Horizonte y Apangoya.

Sin embargo, hacia el flanco derecho, a la altura del segundo nivel de la trocha carrozable, aflora un sustrato rocoso de composición andesítica muy fracturado y altamente meteorizado a arenas, que hasta la fecha contuvo, a manera de una barrera, que el material de ese flanco continúe desplazándose cuesta abajo. En este extremo se observó bloques de hasta 1.5 m dispuestos en el cuerpo del derrumbe (figura 12).

Si bien, el derrumbe no llegó alcanzar el caserío de Apangoya, en caso se reactive nuevamente podría alcanzar hasta el colegio y puesto de salud.

Finalmente, hacia el extremo más distal del derrumbe, se depositó material mucho más grueso, compuesto por bloques que varían de 0.5 m a 2 m de diámetro, gravas, arenas, limos y arcillas, ello afectó una vivienda y terrenos de cultivo.

La reactivación del evento ocasionó la pérdida de 2 vidas humanas que se encontraban realizando trabajos en la vía vecinal que une a los caseríos de Apangoya – Rumichina y comunidades nativas. Cabe mencionar que, esta vía corta la ladera en dos niveles, siendo afectado un tramo de 90.4 m del segundo nivel.

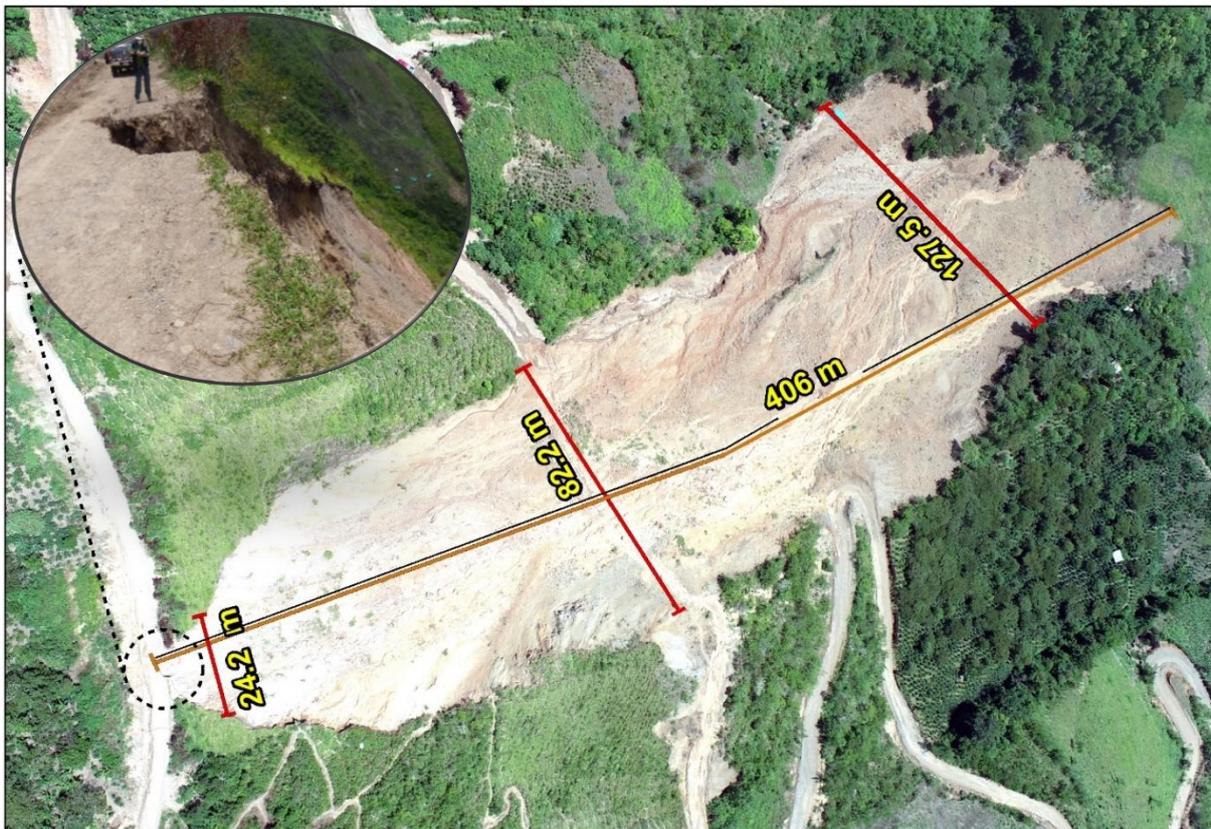


Figura 8. Derrumbe con una zona de arranque de forma irregular y una distancia de 406 m entre la corona y pie del derrumbe, sobre rocas volcánicas, conformado por brechas, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, altamente meteorizadas y muy fracturadas; y sobre depósitos de deslizamientos antiguos.

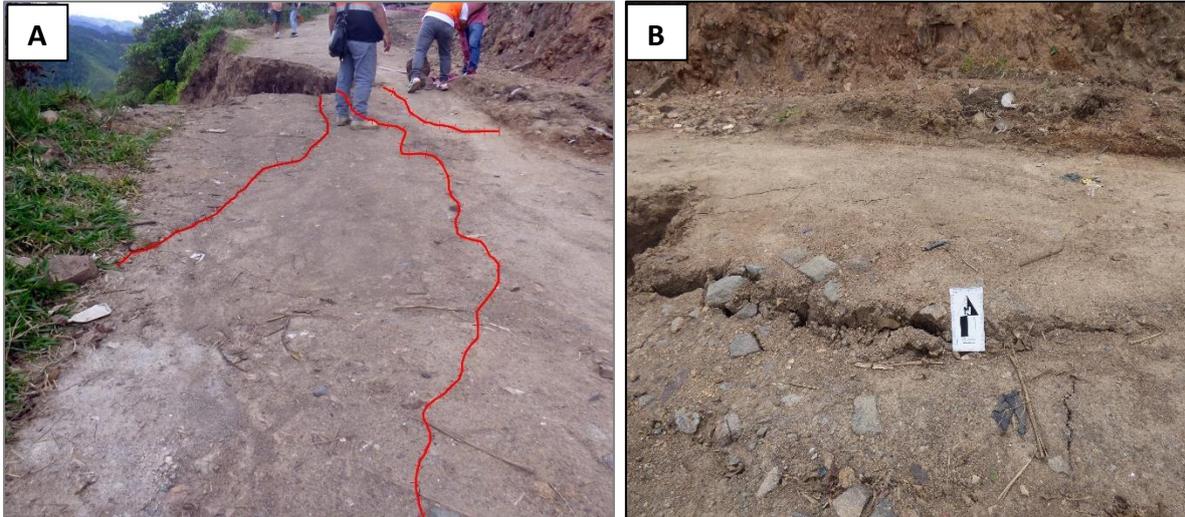


Figura 9. Vista de agrietamientos en la zona posterior de la zona de arranque, el primero, presenta cierto desplazamiento y 5 cm de apertura, mientras que el segundo y tercero, localizados a 1 m de la corona, poseen 0.2 cm y 0.1 cm respectivamente de desplazamiento, con altas probabilidades de que deslice todo el ancho de la trocha carrozable.



Figura 10. El flanco derecho del derrumbe presenta actividad retrogresiva, debido a la escorrentía e infiltración proveniente del drenaje no canalizado del caserío Bello Horizonte, el cual vierte sus aguas al talud inferior, generando mayor humedecimiento y saturación de agua en esa área del terreno.



Fotografía 2. El flanco izquierdo del derrumbe está compuesto por bloques de formas angulosas, con diámetro mayor a 1 m, arenas, limos y arcillas inmersos en material lodoso, muy inestable al paso peatonal.



Figura 11. Vista de surgencias de agua, proveniente de la cara del derrumbe, el cual se canalizó, discurriendo cuesta abajo.



Figura 12. A, B. En la zona media del flanco derecho aflora un sustrato rocoso de composición andesítica muy fracturado y altamente meteorizado a arenas, que hasta la fecha contuvo, a manera de una barrera, que el material de ese flanco continúe desplazándose cuesta abajo. En este extremo se observó bloques de hasta 1.5 m dispuestos en el cuerpo del derrumbe

5.1.2. Erosión de ladera

En la ladera suroeste del cerro Bello Horizonte, la formación de procesos de erosión de ladera tipo surcos y cárcavas, con avance progresivo a derrumbes, abarca un área aproximada de 1.47 Ha, comprometiendo rocas volcánicas y depósitos coluvio – deluviales, este último, compuesto por bloques de formas angulosas a subangulosas, gravas y arenas limosas, ligeramente densa y medianamente consolidada.

En los años noventa, el caserío de Apangoya estaba ubicado donde actualmente se formó lagunas, la primera y más grande posee un área aproximada de 1.88 Ha, un ancho de 54 m y una longitud de 97 m (figura 13). Según versión de los pobladores, el nivel de espejo se mantiene constante tanto en temporada de lluvias y estiaje.

El proceso de erosión por carcavamiento se presenta de forma retrogresiva, en dirección al caserío Bello Horizonte, en la cabecera posee un ancho de 4.8 m, 7 m en la zona medio y en la parte baja incrementa su tamaño, formando derrumbes.

La laguna presenta una coloración beige debido al aporte de sedimentos que genera el derrumbe, coadyuvado por el material transportado por medio de los surcos, este último generado por la escorrentía pluvial.

En la cara media del derrumbe, se observó surgencias de agua, canalizándose por el cuerpo del derrumbe, hasta la confluencia con la laguna.



Figura 13. Procesos de erosión por carcavamiento, de forma retrogresiva.

5.1.3. Reptación de suelos

La ladera continua al flanco derecho del derrumbe de Apangoya, posee una configuración morfológica de pendiente muy empinada (35°), favoreciendo la formación de reptación de suelos (fotografía 3), cubierta por regular vegetación de pastizales.

Al pie de la ladera, se produjo un derrumbe, en rocas de composición andesítica, muy fracturada y altamente meteorizada a arenas de grano grueso. La principal familia de fracturas presenta la siguiente dirección: Rumbo: $N 130^\circ$ Buzamiento: 57° NE.



Fotografía 3. Vista de procesos de reptación de suelos.

6. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DEL TALUD

6.1. Factores condicionantes

Factor litológico-estructural

En la parte alta del derrumbe, el afloramiento rocoso, conformado por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, se presentan de moderada a altamente meteorizada, y medianamente a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al SE. Son rocas con resistencia a la compresión simple que varían de 25-50 Mpa, de acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad

El afloramiento de andesita, localizado en la zona media y flanco derecho del derrumbe, presenta una resistencia a la compresión simple que varían 5 – 25 Mpa, por presentarse muy fracturadas y altamente meteorizadas a arenas de grano grueso, se consideran como rocas de mala calidad

Factor geomorfológico

El relieve donde se encuentran asentados los caseríos de Bello Horizonte y Apangoya, presenta una morfología muy accidentada, debido a procesos de remoción en masa suscitados en el pasado, formando terrenos escalonados y laderas de pendientes escarpadas (45°), con un cambio de pendientes abruptas (85°) en los taludes verticalizados por corte, lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.

Factor hidrológico y geohidrológico

El agua de escorrentía pluvial está generando la formación y profundización de los procesos por erosión de ladera tipo cárcavas y surcos.

A mayor grado de fracturamiento del sustrato rocoso, existe mayor infiltración de agua, muestra de ello, es la presencia de agua en el talud verticalizado, discurriendo a través de las fracturas y el dique. Así mismo, se puede apreciar surgencias de agua en la cara del derrumbe de Apangoya, canalizándose con un ancho de 1 m, cuesta abajo.

Del mismo modo, se observó surgencias de agua, en la cara del derrumbe de la ladera sureste del cerro Bello Horizonte.

6.2. Factores desencadenantes

Los procesos por movimientos en masa antiguos, como antiguos deslizamientos, derrumbes reactivados, erosión de ladera y procesos de reptación de suelo identificados entre los caseríos Bello Horizonte y Apangoya, fueron desencadenados por lluvias intensas y /o prolongadas ocurridos durante las semanas previas.

6.3. Otros factores antrópicos

El corte de talud, realizado aproximadamente hace 18 años, para el trazo de la trocha carrozable que conectaría a los caseríos de Apangoya – Rumichina y comunidades nativas, coadyuvó con la reactivación del deslizamiento antiguo en derrumbes. Además, el corte de talud en afloramientos rocosos fracturados, podría ocasionar fallas tipo cuña.

Según mencionan los pobladores, antes de que se produzca el evento del 10 de febrero, en la zona media del derrumbe, extraían material para agregado. Esta cantera presentaba una altura que varía de 4 a 5 m y un ancho de 15 m, infiriendo que esta actividad, causó mayor incidencia en la reactivación del evento.

La canaleta sin revestir de la trocha carrozable, localizado al pie del talud inferior, recepciona el aporte de agua pluvial proveniente del drenaje no canalizado del caserío Bello Horizonte, el cual vierte sus aguas cuesta abajo, generando mayor humedecimiento y saturación de agua en el terreno. Este canal, continua su recorrido en dirección sur-norte, pasando por la parte posterior de la zona de arranque.

6.4. Clasificación geomecánica

6.4.1. RMR de Bieniawski

La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, consiste en la clasificación de macizos rocosos en base a parámetros geotécnicos del afloramiento.

Para la clasificación geomecánica del macizo rocoso, mediante las características del afloramiento se evaluaron las diaclasas, discontinuidades (longitud, abertura, rugosidad, relleno y alteraciones), presencia de agua y resistencia de la roca.

Los valores de resistencia compresiva de la roca intacta, fueron determinados con el método indirecto (usando el martillo de geólogo, ISRM 1981), el índice de calidad (RQD) fue determinado para cada estación, mediante el registro lineal (Ramírez Oyanguren et al, 1984), teniendo como parámetro de entrada principal la frecuencia de fracturamiento.

Para estimar la calidad de roca del talud, se realizó las medidas en afloramientos de rocas volcánica - sedimentarias compuestas de brechas intercaladas con areniscas y limolitas y andesitas, las cuales se describen en las estaciones 1 y 2.

Estación geomecánica 1:

La clasificación geomecánica en la estación 1, se realizó en el talud verticalizado del primer nivel de corte de la trocha carrozable (figura 14).

La valoración del macizo rocoso, compuesto por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, se presentan de moderada a altamente meteorizada, y medianamente a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al SE; presenta una compresión simple de 25-50 y un índice RQD entre 25-50, se clasifica al macizo rocoso con una valoración de 54. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad (cuadro 6).



Figura 14. Vista del afloramiento rocoso, compuesto por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, se presentan de moderada a altamente meteorizada, y medianamente a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al SE

Cuadro 6. Estación geomecánica 01: Macizo rocoso de calidad regular con un RMR de 54.

VALORACION DEL MACIZO ROCOSO (R.M.R.)									
PARAMETRO	RANGO DE VALORES						VALORACION		
	VALOR ESTIMADO								
R. COMPRE. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7) X	25-50 (4)	<25(2) <5(1) <1(0)	1	4		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17) X	50-75 (13)	25-50 (8)	<25 (3)	2	13		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20) X	0,6-2 (15)	0,2-0,6 (10)	0,06-0,2 (8)	< 0,06 (5)	3	15		
CONDICION DE JUNTAS	PERSISTENCIA	<1m long. (6) X	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	4	
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)	1-5 mm (1) X	> 5 mm (0)	4B	0	
JUNTAS	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5) X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4) X	Duro > 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	Suave > 5 mm (0)	4D	2	
AGUA SUBTERRANEA	ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5) X	Mod.Alterada. (3)	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	3	
		Seco (15) X	Humedo (10)	Mojado (7)	Goteo (4)	Flujo (0)	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) =								54	
CLASE DE MACIZO ROCOSO									
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III			
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA				

Estación geomecánica 2:

La clasificación geomecánica en la estación 2, se realizó en el km 23+000, en sustrato de rocas sedimentarias de tipo calizas (fotografía 4).

La valoración del macizo rocoso, compuesto por andesita, localizado en la zona media y flanco derecho del derrumbe, presenta una resistencia a la compresión simple que varían 5 – 25 Mpa, por presentarse muy fracturadas y altamente meteorizadas a arenas de grano grueso y un índice RQD menor a 25, clasifica al macizo rocoso con una valoración de 29. De acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de mala calidad (cuadro 7).



Fotografía 9. Vista de andesitas muy fracturadas y altamente meteorizadas a arenas de grano grueso, color verdoso.

Cuadro 7. Estación geomecánica 02: Macizo rocoso de calidad mala con un RMR de 29.

PARAMETRO	RANGO DE VALORES							VALORACI.		
	VALOR ESTIMADO									
R. COMPRES. UNIAXIAL (MPa)	>250 (15)	100-250 (12)	50-100 (7)	25-50 (4)	X	<25(2) <5(1) <1(0)	1	2		
RQD %	90-100 (20)	75-90 (17)	50-75 (13)	25-50 (8)	X	<25 (3)	2	3		
ESPACIAMIENTO (m)	>2 (20)	0,6-2 (15)	0.2-0.6 (10)	X	0.06-0.2 (8)	< 0.06 (5)	3	8		
CONDICION DE	PERSISTENCIA	<1m long. (6)	1-3 m Long. (4)	3-10m (2)	X	10-20 m (1)	> 20 m (0)	4A	1	
	ABERTURA	Cerrada (6)	<0.1mm apert. (5)	0.1-1.0mm (4)		1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4B	0	
DE	RUGOSIDAD	Muy rugosa (6)	Rugosa (5)	X	Lig.rugosa (3)	Lisa (1)	Espejo de falla (0)	4C	3	
JUNTAS	RELLENO	Limpia (6)	Duro < 5mm (4)		Duro> 5mm (2)	Suave < 5 mm (1)	X	Suave > 5 mm (0)	4D	0
	ALTERACION	Sana (6)	Lig.Alterada. (5)		Mod.Alterada. (3)	X	Muy Alterada. (2)	Descompuesta (0)	4E	2
AGUA SUBTERRANEA	Seco (15)	X	Humedo (10)		Mojado (7)		Goleo (4)	Flujo (0)	5	10
VALOR TOTAL RMR (Suma de valoración 1 a 5) = 29										
CLASE DE MACIZO ROCOSO										
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	IV				
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA					

7. MODELAMIENTO

Los modelos numéricos se utilizan para predecir zonas con potencial peligro a generar deslizamientos y derrumbes. Además, pueden calcular las velocidades, alturas y la energía con la cual estos eventos pueden impactar sobre zonas urbanas. De esa manera se puede implementar medidas estructurales o no estructurales que coadyuven en la prevención del riesgo de desastre.

Para el análisis dinámico y cálculo del probable derrumbe de la ladera noroeste del cerro Bello Horizonte se utilizó el software iRIC The International River Interface Cooperative (iRIC) Iniciada en 2007 por el profesor Yasuyuki Shimizu (Universidad de Hokkaido) y el Dr. Jonathan Nelson (USGS) con el propósito de desarrollar una plataforma, que realice simulación numérica de flujo y morfodinámica en ríos.

Específicamente, se utilizó la extensión Morpho2DH, como solucionador de flujo de escombros/lodo bidimensional horizontal desarrollado por el profesor Hiroshi Takebayashi en el Instituto de Investigación de Prevención de Desastres de la Universidad de Kyoto. El modelo puede reproducir los procesos de transporte y erosión/deposición del flujo de escombros/lodo debido a deslizamientos de tierra. Las estructuras (p. ej., presa sabo, vertedero, edificios, etc.) y la distribución horizontal de la profundidad máxima de erosión se pueden incorporar en el análisis. Además, el flujo bidimensional horizontal no estacionario y el análisis de deformación del lecho para flujos de agua clara se pueden realizar utilizando Morpho2DH como en la versión original de Morpho2D (Chagua, 2022).

7.1. Información base

a. Coordenadas

Esta información hace referencia a las coordenadas del inicio y centro del área del derrumbe probable a deslizar (cuadro 8):

Cuadro 8. Coordenadas del área de estudio.

Zona	Este	Norte	Altura (m s.n.m)
Inicial	743356	9442548.	1386
Media	743385	9442542	1371

b. Tamaño del dominio

Se ingresa esta información respecto a la delimitación del área a trabajar, a través de una malla (figura 15).

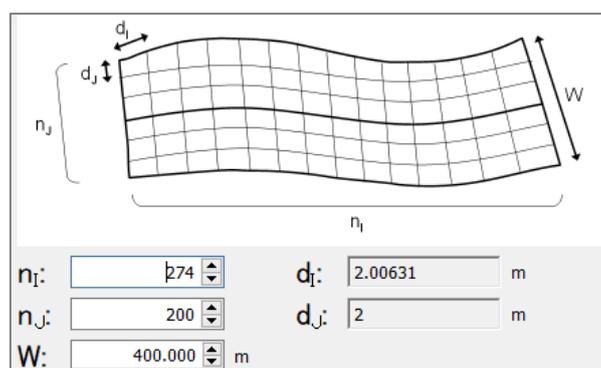


Figura 15. Información de los diámetros de la malla.

c. Topografía

Para procesamiento en el software Morpho 2DH se utilizó el modelo digital de terreno obtenido en base a la fotogrametría aérea con dron con una resolución de muestreo en terreno de 0.42 cm/pix (figura 16).

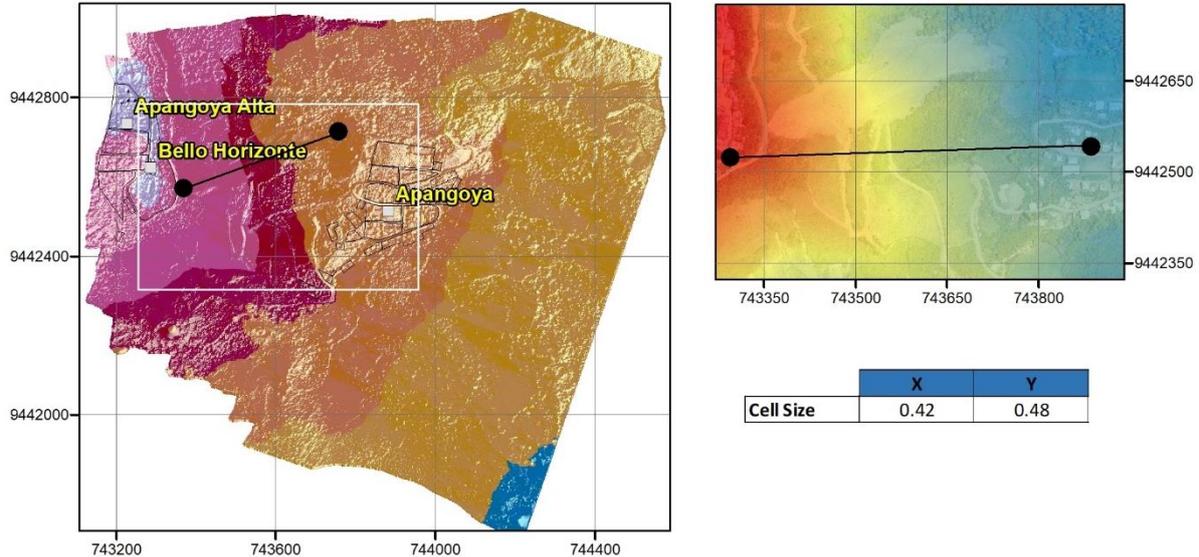


Figura 16. Información de representa la resolución topográfica.

7.2. Parámetros

En el cuadro 9, se muestra las condiciones de cálculo que requiere el software Morpho 2DH, para el correcto procesamiento del modelo numérico. En ese sentido, de acuerdo a las condiciones del terreno y según tablas promedio estandarizadas de los suelos y rocas se ingresó la siguiente información.

Cuadro 9. Parámetros requeridos por el software Morpho 2DH.

Datos ingresados al programa	Valores
Sediment concentration	Constante
Sediment concentration value	0.5
Static Deposition Sediment Concentration	0.7
Liquid Behavior Sediment Ratio	0.2
Minimum Flow Depth	0.5
Internal Friction Angle	20
Laminar Flow Depth	Constante
Laminar Flow Depth Ratio	35
Resistance Coefficient	0.4
Non-Erodable Height	18

7.3. Resultados

El modelo numérico fue calibrado en base al registro fotográfico, morfología del terreno, análisis litológico, y datos recopilada en campo.

La profundidad del evento se consideró en base al derrumbe suscitado el 10 de febrero en la ladera noreste del cerro Bello Horizonte, considerando una profundidad aproximada de 4 m. Como resultado, en las figuras 17 y 18 nos muestra las alturas máximas obtenido en un tiempo de 30 segundos.

Los trabajos de campo realizados los días 4 y 5 de marzo en los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte, permitieron observar agrietamientos en el área adyacente del flanco derecho del derrumbe, estas manifestaciones en el terreno son indicadores de futuros derrumbes y/o deslizamientos que puedan suscitarse en un futuro; razón por la cual, se consideró esta área para el modelamiento; de esa manera, poder predecir y evitar pérdidas de vidas humanas y materiales.

Debido a la morfología de la zona, protuberancia de roca andesítica muy fracturado y mediana a altamente meteorizado, en el segundo 3 en evento se divide en dos brazos, el primero en dirección noreste (hacia el derrumbe suscitado el 10 de febrero); mientras que el segundo brazo se desplaza en dirección sureste, llegando hasta el cuarto nivel de la trocha carrozable, para luego desviarse en dirección noreste, por lo que no llegaría hasta el caserío de Apangoya.

En la figura 19 se muestran los perfiles A - A' y B – B, donde se observa claramente la presencia del afloramiento rocoso de composición andesítica, el cual separa en dos brazos al evento que pueda presentarse en un futuro.

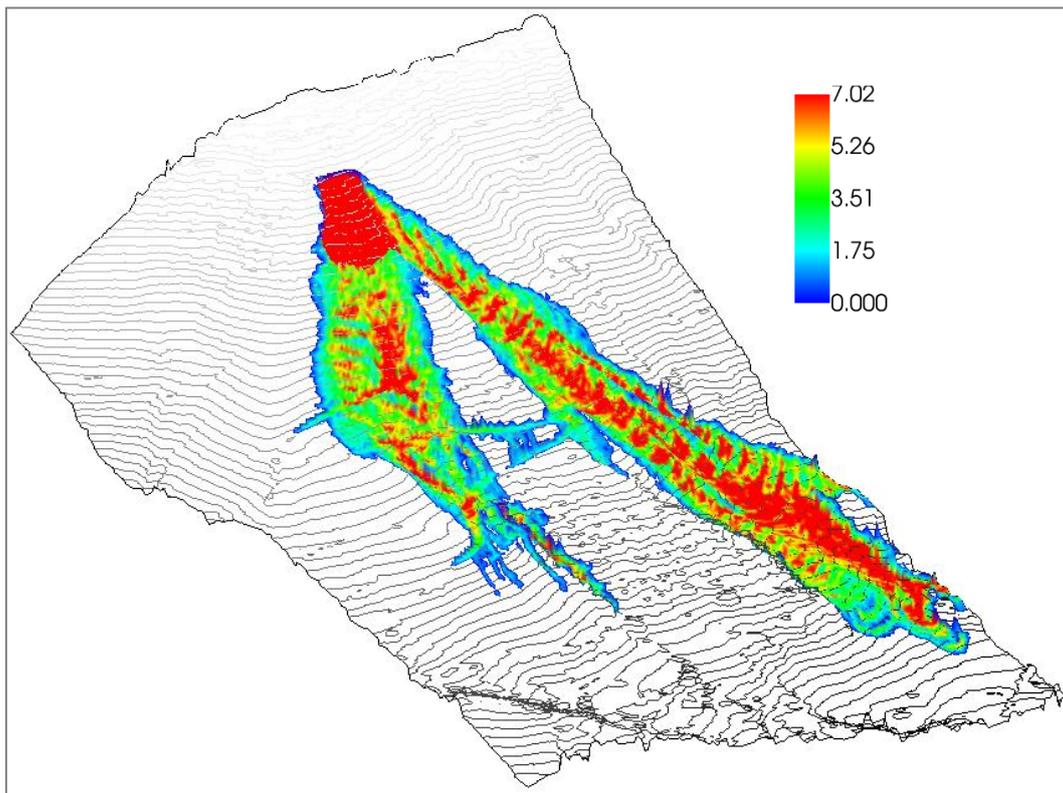


Figura 17. Vista e 3D de las alturas máximas obtenidas en un intervalo de tiempo de 30 segundos.

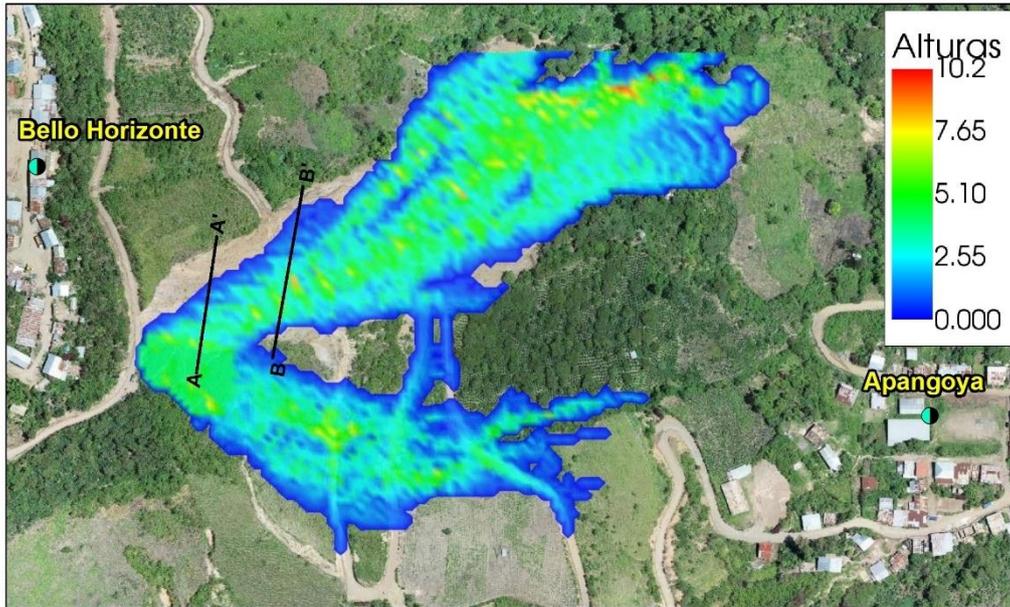


Figura 18. Modelo numérico del probable evento que pueda desencadenarse en el área adyacente del flanco derecho del derrumbe.

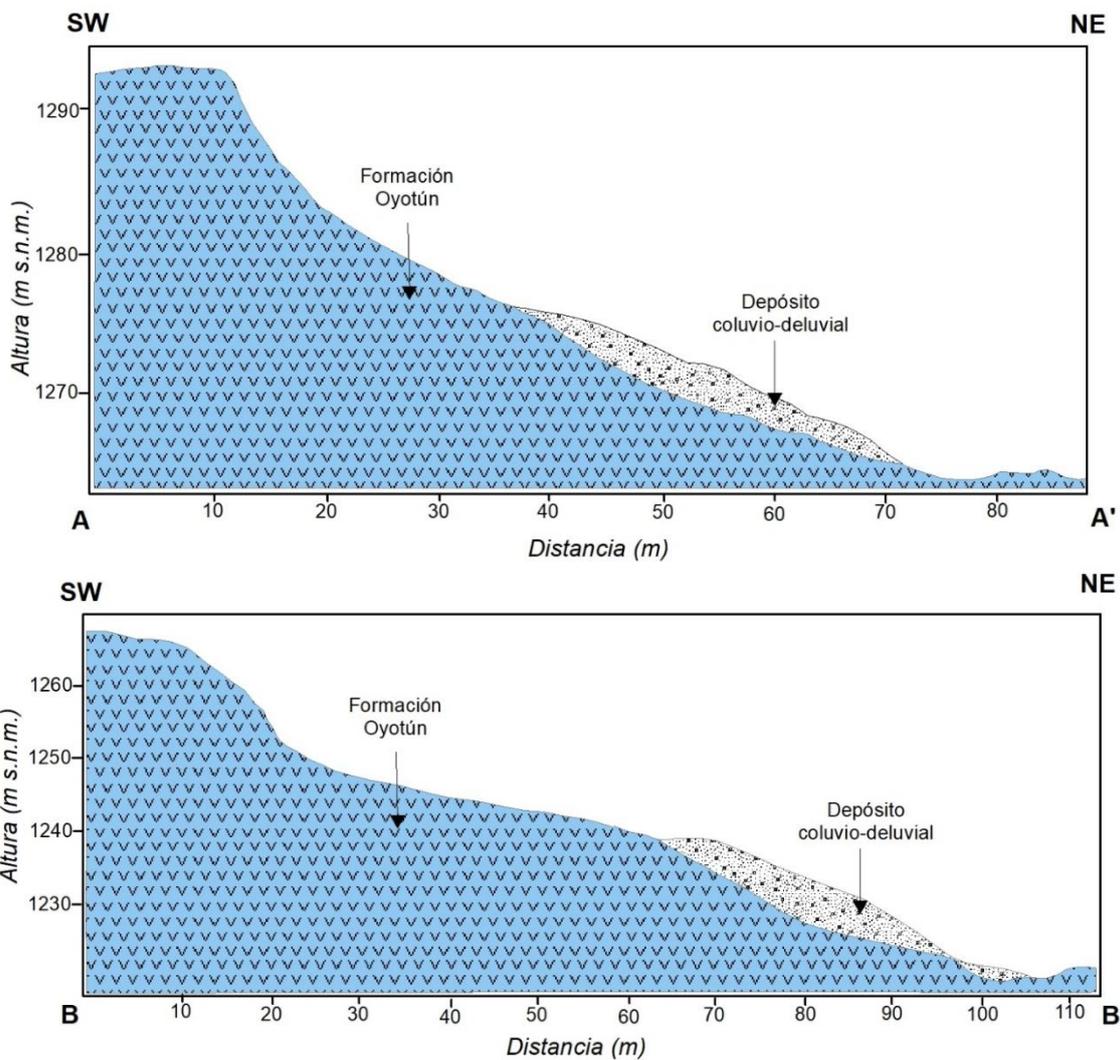


Figura 19. Perfiles geológicos de forma transversal al derrumbe suscitado el 10 de febrero, donde resalta el afloramiento de roca andesítica que separaría en dos brazos al evento.

8. CONCLUSIONES

1. Entre los caseríos Apangoya y Bello Horizonte afloran rocas volcánico – sedimentarias, conformado por brechas y diques volcánicos, intercaladas con areniscas de grano medio a grueso y limolitas de color pardo rojizo, se presentan de moderada a altamente meteorizada, y medianamente a muy fracturadas, con buzamiento preferencial al SE. Son rocas con resistencia a la compresión simple que varían de 25-50 Mpa, de acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad. Sin embargo, en la zona media del derrumbe, aflora una andesita, con una resistencia a la compresión simple que varían 5 – 25 Mpa, por presentarse muy fracturadas y altamente meteorizadas a arenas de grano grueso, se consideran como rocas de mala calidad
2. Morfológicamente, el área de estudio, presenta una morfología muy accidentada, debido a procesos de remoción en masa suscitados en el pasado, formando terrenos variables de forma escalonados y laderas de pendientes medias (5°) en el caserío Apangoya y escarpadas (45°) hacia la zona del derrumbe, con un cambio a pendientes abruptas (85°) en los taludes verticalizados por corte, lo que contribuye que, el material suelto disponible en las laderas se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
3. Entre los factores antrópicos, que contribuyeron en la reactivación del derrumbe, se considera al corte de talud, realizado aproximadamente hace 18 años, para el trazo de la trocha carrozable a los caseríos de Apangoya – Rumichina y comunidades nativas; así como, la extracción de material para agregado de la cantera que se localizaba en la zona media del derrumbe.
4. El 10 de febrero, aproximadamente a las 5 p.m., la ladera noroeste del cerro Bello Horizonte se activó en un derrumbe cubriendo un área de 3.7 Ha y una zona de arranque de forma irregular, comprometiendo parte del primer nivel de la trocha carrozable, en un tramo de 5.7 m.
5. En evento continua activo y latente, con altas probabilidades de que deslice todo el ancho de la trocha carrozable debido a la presencia de agrietamientos longitudinales, localizados a 1 m de la corona, con aperturas de hasta 5 cm.
6. De continuar el vertimiento de agua, proveniente del caserío Bello Horizonte, hacia el flanco derecho del derrumbe, podría reactivarse nuevamente, la masa deslizada podría afectar a las viviendas localizadas más contiguas a la ladera noreste.
7. Para estimar la calidad de roca, se realizaron dos estaciones geomecánicas, en rocas volcánico – sedimentarias. Los valores obtenidos, de la estación geomecánica 1, en base a la clasificación RMR, muestra valor de 54, de acuerdo a sus características ingeniero – geológicas, se consideran como rocas de regular calidad. Mientras que, el análisis realizado en la estación geomecánica 2, muestra un valor de 29, considerada como roca de mala calidad, estos requieren trabajos de corrección y protección.
8. El modelamiento realizado con el software Morpho 2DH, tomando como base las mismas condiciones del evento del 10 de febrero, muestra alturas máximas de 10 m entre la zona media y más distal del evento. Debido a la morfología de la zona y la presencia de afloramiento rocoso de composición andesítica muy fracturado y

mediana a altamente meteorizado, en el segundo 3 en evento se divide en dos brazos, el primero en dirección noreste (hacia el derrumbe suscitado el 10 de febrero); mientras que el segundo brazo se desplaza en dirección sureste, llegando hasta el cuarto nivel de la trocha carrozable, para luego desviarse en dirección noreste, por lo que no llegaría hasta el caserío de Apangoya.

9. Tomando en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámica actual, se determina que, los caseríos de Apangoya y Bello Horizonte, son consideradas como **zona crítica y de Peligro Alto** a movimientos en masa de tipo derrumbes y deslizamientos; que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos y lluvias intensas y/o prolongadas.

9. RECOMENDACIONES

NO ESTRUCTURALES

1. De continuar el avance retrogresivo del evento, considerar reubicar el colegio y posta de salud del caserío Bello Horizonte.
2. Controlar y supervisar los cortes de talud realizados en el cuerpo del deslizamiento antiguo, a fin de evitar la generación de mayor inestabilidad y reactivación de nuevos derrumbes.
3. Realizar un monitoreo continuo y visual de la presencia de nuevos agrietamientos en la zona posterior a la corona y áreas adyacentes al flanco derecho del derrumbe. Del mismo modo, monitorear constantemente la ladera de la margen derecha del río Chirinos, ante la posible reactivación de nuevos procesos por movimientos en masa.
4. Prohibir la tala de árboles. Forestar las laderas desprovistas de vegetación, con plantas nativas de la zona.
5. Evitar el vertimiento de agua no canalizada, proveniente del caserío Bello Horizonte, hacia el talud inferior, para evitar mayor saturación y humedecimiento del terreno.
6. Prohibir el paso vehicular y peatonal por la trocha carrozable, específicamente en el primer nivel de corte, para evitar sobrecarga en la corona del derrumbe.
7. Restringir la expansión urbana en los caseríos Bellos Horizonte y Apangoya.
8. A las autoridades locales se recomienda, realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos y gestión del riesgo de desastres, con el fin de que, la intervención antrópica no acelere los procesos activación y/o reactivación de movimientos en masa. Así mismo, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de nuevos eventos.

ESTRUCTURALES

9. Implementar un sistema de drenaje en el Caserío Bello Horizonte, con el propósito de captar las aguas de escorrentía que se formen, derivándolas hacia quebradas próximas por medio de tuberías, como los indicados en el Anexo 2. Estas medidas deben ser diseñadas por un especialista.
10. En el primer nivel de corte de la trocha carrozable, en un tramo de 150 m aproximadamente, colocar tuberías PVC, con el propósito de captar el agua que discurre por la cuneta de la trocha referida, de esa manera evitar la infiltración de agua en la corona y flanco derecho del derrumbe.



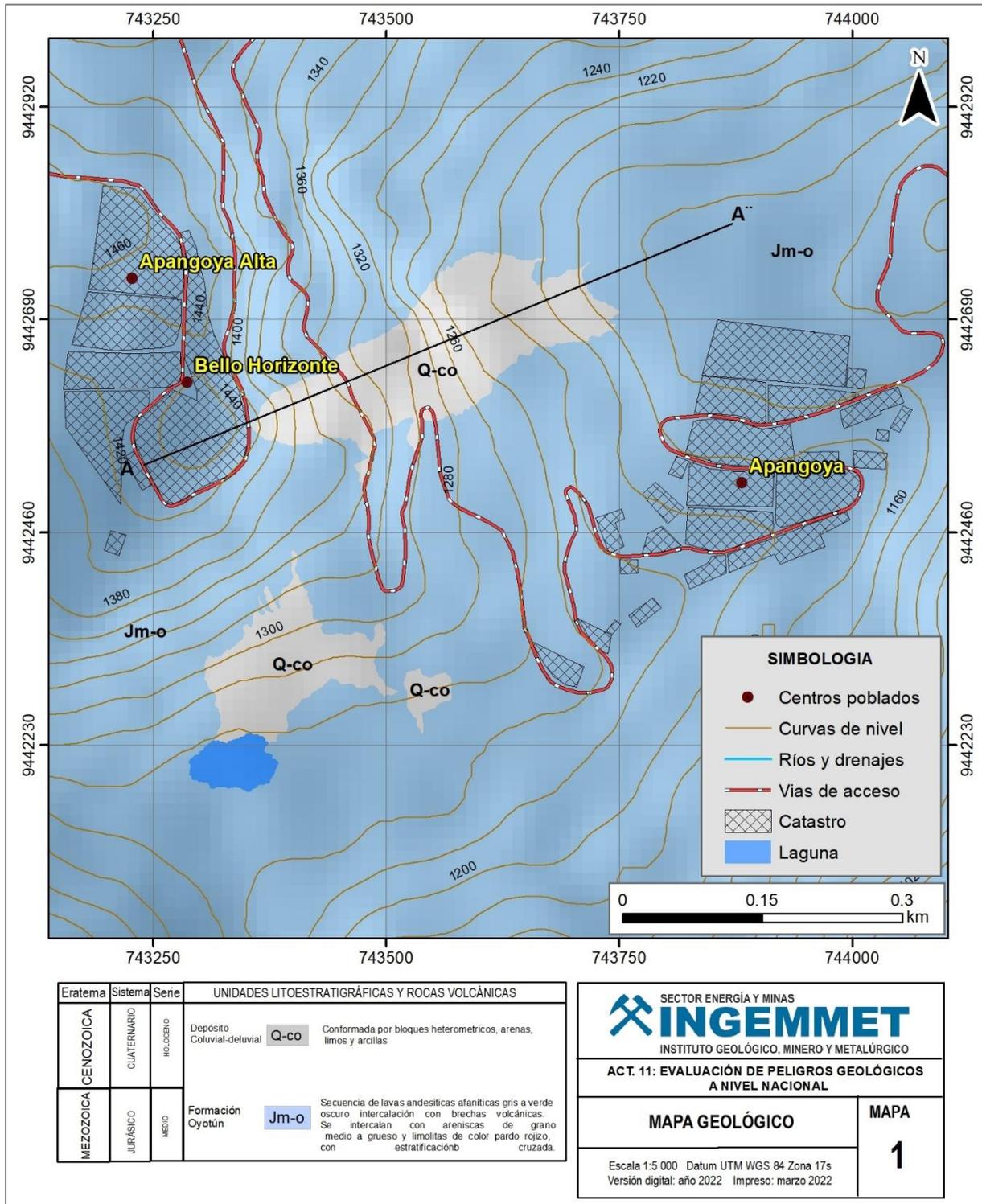
Ing. LIONEL V. FIDEL SMOLL
Director
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET


Ing. Guisela Choquenaira Garate

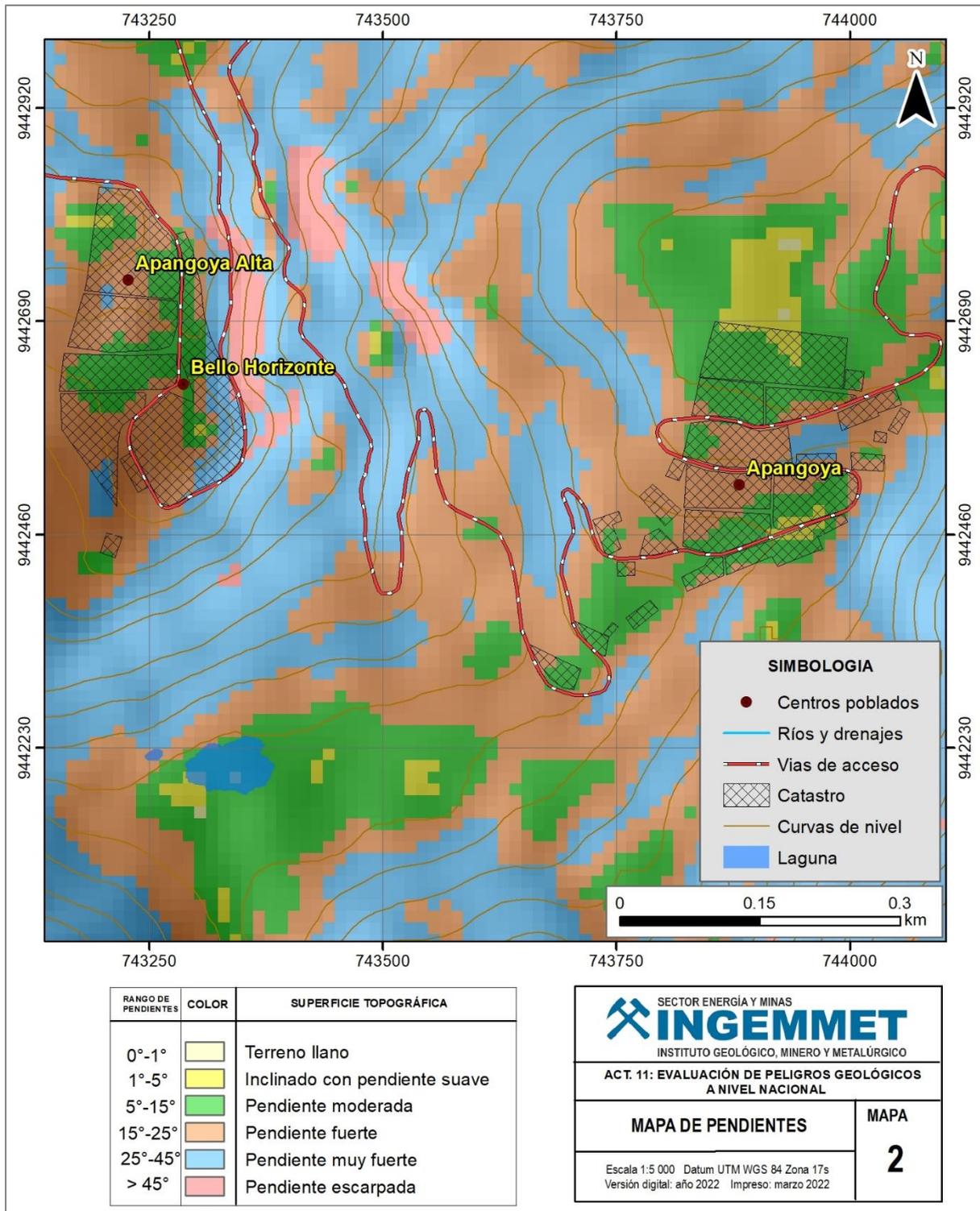
10. BIBLIOGRAFÍA

- De La Cruz (1995) - En la "Memoria descriptiva de los cuadrángulos de Río Santa Águeda (10-f), San Ignacio (11-f) y Aramango (11-g).
- 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, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Köppen, W. (2010). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Clasificación de climas según temperatura, precipitación y ciclo estacional.). Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007)
 - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) – SENAMHI. (consulta: 03 de abril 2021). <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>.
- Shruthi, R. B. V., Kerle, N., & Jetten, V. G. (2011) - Object - based gully feature extraction using high spatial resolution imagery. Geomorphology, 134(3-4), 260-268. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.07.003.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Zavala, B & Valenzuela, G. (1998) - Inspección de riesgo geológico en la localidad de Apangoya, provincia de San Ignacio, Cajamarca, informe inédito. Lima: INGEMMET, 24 p.
- Zavala, B. (2011) - Boletín N° 44, serie C, "Riesgos geológicos en la región Cajamarca.
- Zavala, B. (2007) - Zonas críticas por peligro geológico y geohidrológico en la región Cajamarca".
-

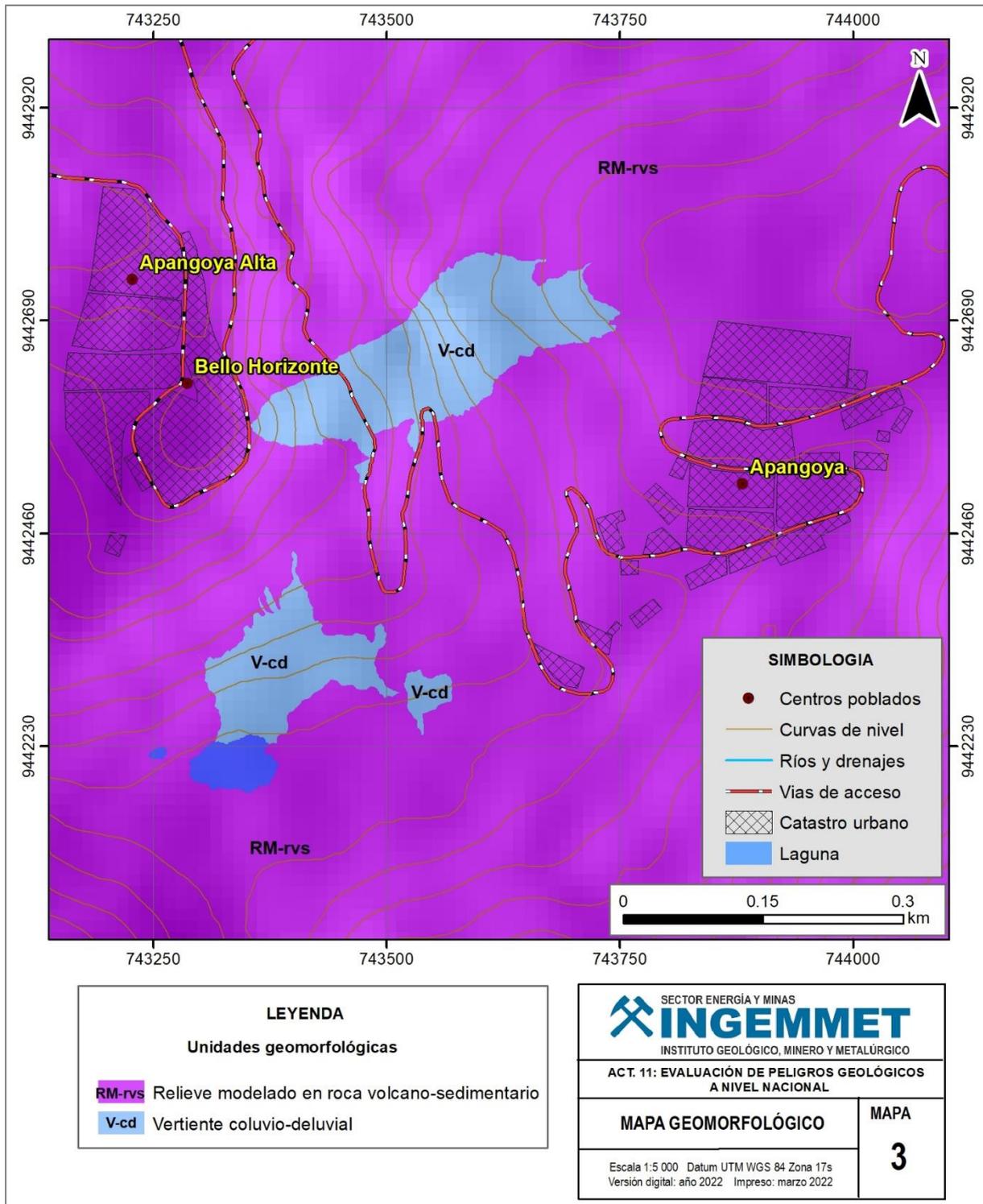
ANEXO 1: MAPAS



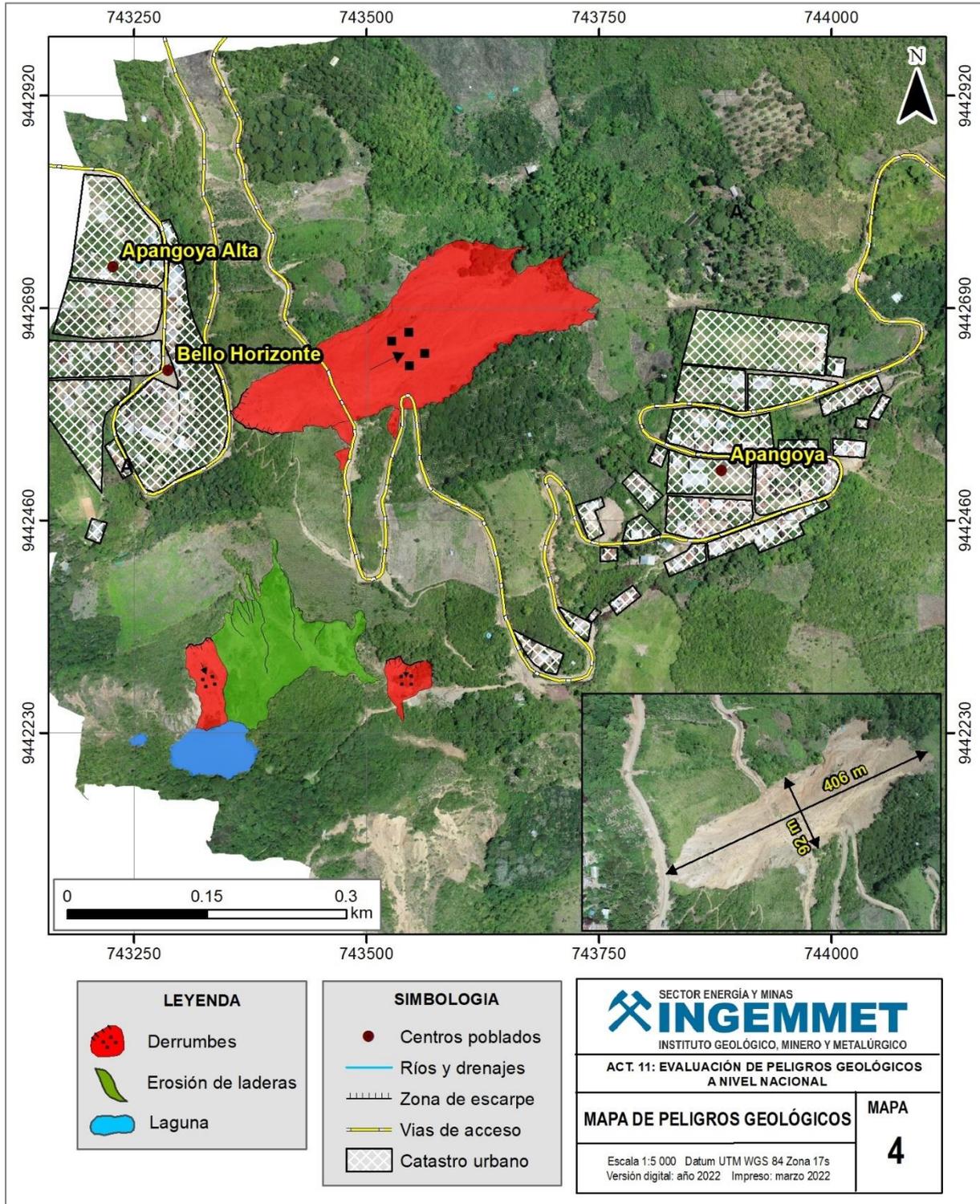
Mapa 1. Mapa geológico del área evaluada.



Mapa 2. Mapa de pendientes del área evaluada.



Mapa 3. Mapa geomorfológico del área evaluada.



Mapa 4. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 8). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 8. Métodos de drenaje y subdrenaje

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

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

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

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

Tipos de obra de drenaje superficial

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

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

ANEXO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

DESCRIPCIÓN DE FORMACIONES SUPERFICIALES

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		<input type="checkbox"/> Eluvial	<input type="checkbox"/> Lacustre
		<input checked="" type="checkbox"/> Deluvial	<input type="checkbox"/> Marino
		<input checked="" type="checkbox"/> Coluvial	<input type="checkbox"/> Eólico
		<input type="checkbox"/> Aluvial	<input type="checkbox"/> Orgánico
		<input type="checkbox"/> Fluvial	<input type="checkbox"/> Artificial
		<input type="checkbox"/> Proluvial	<input type="checkbox"/> Litoral
		<input type="checkbox"/> Glaciar	<input type="checkbox"/> Fluvio glaciar

GRANULOMETRÍA	FORMA	REDONDES	PLASTICIDAD
%			
<input type="checkbox"/> 15 Bolos	<input type="checkbox"/> Esférica	<input type="checkbox"/> Redondeado	<input checked="" type="checkbox"/> Alta plasticidad
<input type="checkbox"/> Cantos	<input checked="" type="checkbox"/> Discoidal	<input checked="" type="checkbox"/> Subredondeado	<input type="checkbox"/> Med. Plástico
<input type="checkbox"/> 20 Gravas	<input type="checkbox"/> Laminar	<input type="checkbox"/> Anguloso	<input type="checkbox"/> Baja Plasticidad
<input type="checkbox"/> Gránulos	<input type="checkbox"/> Cilíndrica	<input checked="" type="checkbox"/> Subanguloso	<input type="checkbox"/> No plástico
<input type="checkbox"/> 35 Arenas			
<input type="checkbox"/> 8 Limos			
<input type="checkbox"/> 22 Arcillas			

ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	%	LITOLOGÍA
<input checked="" type="checkbox"/> Masiva	<input type="checkbox"/> Harinoso	<input checked="" type="checkbox"/> Materia Orgánica	<input type="checkbox"/> Intrusivos	
<input type="checkbox"/> Estractificada	<input checked="" type="checkbox"/> Arenoso	<input type="checkbox"/> Carbonatos	<input checked="" type="checkbox"/> Volcánicos	
<input type="checkbox"/> Lenticular	<input type="checkbox"/> Aspero	<input type="checkbox"/> Sulfatos	<input type="checkbox"/> Matamórficos	
			<input checked="" type="checkbox"/> Sedimentarios	

COMPACIDAD	
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS
Limos y Arcillas	Arenas
<input type="checkbox"/> Blanda	<input type="checkbox"/> Suelta
<input checked="" type="checkbox"/> Compacta	<input checked="" type="checkbox"/> Densa
<input type="checkbox"/> Dura	<input type="checkbox"/> Muy Densa
	Gravas
	<input type="checkbox"/> Suelta
	<input type="checkbox"/> Med. Consolidada
	<input checked="" type="checkbox"/> Consolidada
	<input type="checkbox"/> Muy Consolidada

CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.

SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
<input checked="" type="checkbox"/> GW	<input type="checkbox"/> GC	<input type="checkbox"/> ML	<input type="checkbox"/> CH
<input type="checkbox"/> GP	<input checked="" type="checkbox"/> SW	<input type="checkbox"/> CL	<input type="checkbox"/> OH
<input type="checkbox"/> GM	<input type="checkbox"/> SP	<input type="checkbox"/> OL	<input type="checkbox"/> PT
<input type="checkbox"/> SM	<input type="checkbox"/> SC	<input type="checkbox"/> MH	