

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7486

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR FLUJOS DE DETRITOS EN EL CENTRO POBLADO DE VIRACO Y ZONAS ALEDAÑAS

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Viraco



MARZO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR FLUJOS DE DETRITOS (LAHARES) EN EL CENTRO POBLADO DE VIRACO Y ZONAS ALEDAÑAS

Distrito Viraco, Provincia Castilla, Departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Rigoberto Aguilar Contreras

Referencia bibliográfica

Aguilar, R. (2024). Evaluación de peligros por flujos de detritos en el centro poblado de Viraco y zonas aledañas. Distrito de Viraco, provincia Castilla, departamento Arequipa. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7486, 30 p.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	6
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Accesibilidad	7
1.3.3. Precipitación pluvial	8
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
3.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	11
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1. Pendiente del terreno	12
4.2. Unidades geomorfológicas	13
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos	13
4.2.2. Geoformas de carácter erosional	13
4.2.3. Geoformas de carácter depositacional o agradacional	14
4.2.3.1. Unidad de piedemonte	14
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	14
5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	15
5.2. Otros peligros geológicos – peligros volcánicos	21
5.3. Factores condicionantes	21
5.4. Factores desencadenantes	21
6. CONCLUSIONES	22
7. RECOMENDACIONES	23
8. BIBLIOGRAFÍA	24
ANEXO 1: MAPAS	25
ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS	27

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos relacionados a la ocurrencia de flujos de detritos (lahares) en zonas aledañas al centro poblado de Viraco, provincia Casilla, departamento Arequipa. 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 en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

En el área evaluada, afloran flujos de lava del Complejo Volcánico Nevado Coropuna (activo) y secuencias volcánicas del volcán Cuncaicha (extinto), Formación Labra, conformadas por areniscas estratificadas con paquetes de limolitas, en los niveles inferiores con lutitas carbonosas con restos de flora mal conservada; son rocas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas describir del más antiguo al más reciente.

Según las características geológicas y geomorfológicas, las quebradas aledañas al centro poblado de Viraco se encuentran expuestas a peligros relacionados a la ocurrencia de flujos de detritos. Si bien, estos flujos no afectarían directamente a la zona urbana, pueden causar daños en obras de infraestructura como canales de irrigación y carreteras, así como áreas agrícolas y de pastoreo, que se encuentren cercanos a los cauces de las quebradas.

Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos relacionados a los flujos de detritos son: **a)** material erosionado en los flancos de Complejo Volcánico Nevado Coropuna, depósitos de morrenas, depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, poco consolidados; **b)** Terrenos con pendientes que varían de moderado (5° - 15°), a fuerte (15° - 25°) y muy fuertes (25° - 45°), y sectores encañonados muy escapados ($>45^{\circ}$), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo; y **c)** las características geomorfológicas, tales como unidades de montaña en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte coluvio-deluvial y vertiente glacio-fluvial.

Según el mapa de peligros por flujos de detritos (lahares), las áreas propensas a ser afectadas se encuentran restringidas a quebradas, puesto que estas, tienen cauces profundos, lo que facilita el confinamiento de los flujos. Sin embargo, los cauces angostos de las quebradas favorecen que los flujos de desplacen a gran velocidad, con ello también amplifica su fuerza e impacto en un elemento vulnerable (en caso haya expuesto) en su recorrido.

Finalmente, se brindan recomendaciones para las autoridades competentes, el uso de los mapas de peligros y la información proveída por entidades técnico-científica, con el fin de desarrollar las actividades favoreciendo la seguridad de las personas, las obras de infraestructura y las actividades económicas locales.

1. INTRODUCCIÓN

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

El día 08 de diciembre de 2023, un flujo de detritos (lahar) descendió por la quebrada Cospanja, afectando el canal de irrigación que capta aguas de esta quebrada. El acarreo de material detrítico fino (lodo) por el canal de irrigación causó una alta turbidez del agua, afectando la actividad pecuaria de la zona. A razón de este evento, la Municipalidad Distrital de Viraco, según Oficio N° 00399-2023-MDV, solicitó al INGEMMET una evaluación de peligros por lahares (huaico) en el centro poblado de Viraco. Es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo flujo de detritos (lahares), ocurridos el día sábado, 08 de diciembre de 2023, que afectó infraestructura de riego y actividades pecuarias de la localidad Viraco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET, designó al Ing. Rigoberto Aguilar Contreras, para realizar la evaluación de peligros por flujos de detritos en el centro poblado de Viraco y zonas aledañas. El 15 de enero de 2024, el Sr. Rafael Portilla Chahuayo, alcalde de la Municipalidad distrital de Viraco, visitó las instalaciones de la DGAR-INGEMMET en Arequipa, donde brindó detalles del evento ocurrido, y facilitó fotografías tomadas en las quebrada Cospanja.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos realizados por INGEMMET, simulaciones de flujos de detritos, elaboración de mapas, análisis de imágenes satelitales y fotografías de campo, la información fue utilizada para la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Viraco e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - SINAGERD, 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) Tipificar y caracterizar los peligros geológicos por flujos de detritos (lahares) que se presentan en el centro poblado de Viraco, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, obras de infraestructura y perjuicios en las actividades económicas en la zona de influencia.
- b) Elaborar la zonificación de las zonas propensas a ser afectadas por la ocurrencia de flujos de detritos.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional se tienen:

- a) Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2008). Peligros geológicos en el anexo Yacmes. Distrito Tipan, Provincia Castilla, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A5750, 37p. En el mes de agosto del 2007, se produjo deslizamiento en el anexo de Yacmes, y un derrumbe que afectó terrenos de cultivo, destruyó caminos peatonales y cubrió la bocatoma de un canal de riego, además represó la quebrada Tumpullo o Sihuarpo.
- b) Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. Menciona, que en el 2007 se produjo deslizamientos, derrumbes y represamiento en la quebrada Tumpullo o Sihuarpo.
- c) Olchanski, E. y Dávila, D. (1994). Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, Boletín N° 50, Serie A: Carta Geológica Nacional. 52 p. El mapa geológico detalla afloramientos de rocas sedimentarias del Mesozoico cubiertas por rocas volcánicas extendidas principalmente en las laderas y flancos del nevado Coropuna.
- d) Quispesivana, P. (2001). Mapa geológico del cuadrángulo Chuquibamba (32-q). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET. Detalla la litoestratigrafía existente en el distrito de Viraco.
- e) Valdivia, D. (2019). Evaluación de peligros volcánicos por flujos de lahares del Complejo Volcánico Nevado Coropuna. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 105 p. Identifica depósitos de lahares en las zonas de Tipan, Jollpa y Andamayo. Además, en el complejo Volcánico Coropuna se podrían generar lahares de volumen máximo de hasta 20 millones de m³.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al distrito de Viraco, provincia Castilla, departamento Arequipa (figura 1), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18S) siguientes:

Tabla 1. Coordenadas del área evaluado en centro poblado de Viraco.

Punto	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	758000	8278000	-15.562534°	-72.594370°
2	766500	8278000	-15.561654°	-72.515168°
3	766500	8266000	-15.670040°	-72.513861°
4	758000	8266000	-15.670926°	-72.593105°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Punto Central	765363	8267344	-15.658061°	-72.524587°

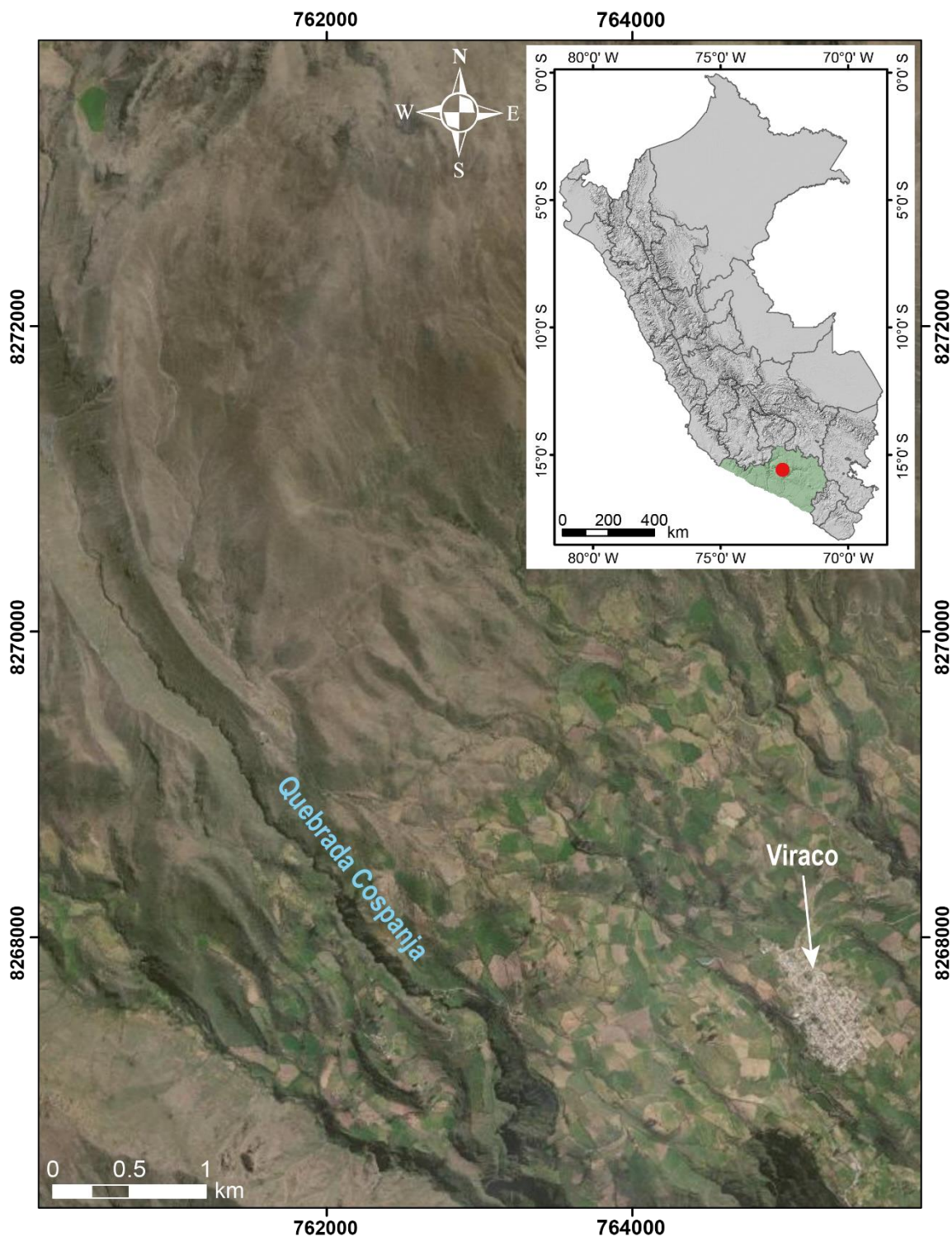


Figura 1. Mapa de ubicación y detalle de la zona de evaluación.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso al centro poblado de Viraco es por vía terrestre, partiendo desde la ciudad de Arequipa, a través de la siguiente ruta:

Tabla 2. Ruta de acceso al centro poblado de Viraco.

<i>Ruta</i>	<i>Tipo de vía</i>	<i>Distancia (km)</i>	<i>Tiempo estimado</i>
Arequipa - Aplao	Asfaltada	178	3 horas y 10 minutos
Aplao – Viraco	Asfaltada	77	2 horas horas

1.3.3. Precipitación pluvial

La zona del centro poblado de Viraco se encuentra a 3215 msnm, al pie del complejo volcánico Nevado Coropuna. Está caracterizada por una geografía accidentada, formada por valles profundas, mesetas y laderas. Tiene un clima semiárido, con presencia de precipitaciones pluviales entre octubre y abril. Los meses con mayor precipitación son enero y febrero. La temperatura varía entre 5 °C (mínimo) y 20 °C (máximo), con temperatura promedio de 12 °C. La estación meteorológica más cercana se encuentra a 2.3 km, en el centro poblado de Machahuay, cuyas condiciones climáticas son muy similares a las de Viraco.

La figura 2, presenta un resumen de los datos de precipitación (mm) y temperatura en la estación Machahuay, proveído por el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI).

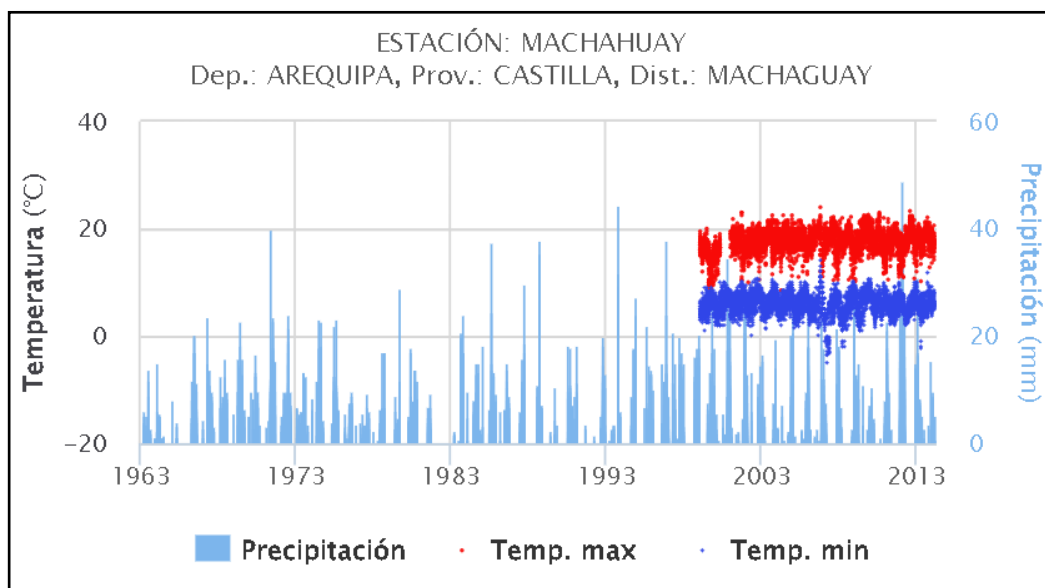


Figura 2. Resumen de los valores de precipitación y temperatura en un periodo de 50 años registrados en la estación Machahuay. Fuente: SENAMHI.

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 informe se desarrollan 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. La terminología técnica utilizada, tiene 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 (cracking): 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.

DESLIZAMIENTO (slide): Son movimientos de masas de roca, residuos o tierra, hacia abajo de un talud” (Cruden, 1991), son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos, causando miles de muertes y daños en las propiedades, por valor de decenas de billones de dólares cada año (Brabb y Harrod, 1989). Los deslizamientos producen cambios en la morfología del terreno, diversos daños ambientales, daños en las obras de infraestructura, destrucción de viviendas, puentes, bloqueo de ríos, etc.

ESCARPE (scarp) 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.

CAIDAS: La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido, se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE: Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados.

EROSIÓN DE LADERAS: Se considera dentro de esta clasificación a este tipo de eventos, porque se les considera predecesoras en muchos casos a la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta gracias a la presencia de

agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo, en el primer caso por el impacto y en el segundo caso por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo generándose los procesos de erosión (Duque et ál, 2016).

Los procesos de erosión de laderas también pueden tener como desencadenante la escorrentía formada por el uso excesivo de agua de regadío.

LAHARES: Se les denomina así porque durante su desplazamiento presentan un comportamiento semejante al de un fluido. Pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor. Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado)

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

AVALANCHA DE ESCOMBROS: Las avalanchas de escombros son deslizamientos súbitos de una parte de los edificios volcánicos. Se originan debido a factores de inestabilidad, tales como la elevada pendiente del volcán, presencia de fallas, movimientos sísmicos fuertes y/o explosiones volcánicas. Las avalanchas de escombros ocurren con poca frecuencia y pueden alcanzar decenas de kilómetros de distancia, se desplazan a gran velocidad, así por ejemplo en el caso del monte St. Helens, se estimaron velocidades del orden de 240 km/h Glicken, (1996). Los mecanismos del colapso, transporte y emplazamiento han sido mejor entendidos a partir de la erupción del volcán St. Helens en los EE. UU. (18 de mayo de 1980), donde se produjo el colapso sucesivo de tres bloques ubicados en el flanco norte.

ERUPCIÓN VOLCÁNICA: Las erupciones volcánicas son el producto del ascenso del magma a través de un conducto desde el interior de la tierra. El magma está conformado por roca fundida, gases volcánicos y fragmentos de roca. Estos materiales pueden ser arrojados con grados de violencia. Dependiendo de la composición química del magma, la cantidad de gases y en algunos casos por la interacción del magma con el agua.

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV): Representa la magnitud de una erupción volcánica y es una escala que va de 0 a 8 grados.

3. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base a Boletín N° 50, Geología de los Cuadrángulos de Chuquibamba y Cotahuasi (Olchauski y Dávila, 1994), y la "Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los Cuadrángulos de Caravelí (32-p), Chuquibamba (32-q), Chivay (32-s), Cailloma (31-s), Velille (30-s), Livitaca (29-s) y Pacapausa (30-p)" (Quispesivana y Navarro, 2003). La geología se complementó con fotografías tomadas en campo y la interpretación de imágenes satelitales. El mapa geológico local se muestra en el Anexo 1.

3.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

2.1.1. Formación Socosani (Jim-so)

En la zona del Cerro Curhuani, la Formación Socosani está constituida por calizas, andesitas, areniscas y pizarras gris oscuras; además existen areniscas negras calcáreas con nódulos de caliza y estratos de calizas grises. Está cubierto por la Formación Labra (Grupo Yura) y rocas volcánicas. También está cortado por un cuerpo subvolcánico de brechas (Olchauski y Dávila, 1994).

2.1.2. Formación Labra (JKi-la)

Aflora en las zonas de Cabra Chico y Cabra Grande, al sur de Viraco. Consiste principalmente en intercalaciones de areniscas blanquecinas de grano medio a fino con algunas capas de limolitas gris verdosas que efervescen al ácido clorhídrico (Quispesivana y Navarro, 2003).

2.1.3. Dacita de Pampachacra (KTi-br)

Se encuentra al oeste del pueblo de Viraco, en el cerro Pampachacra. Se encuentra intruyendo a la Formación Socosani, la cual se encuentra alterada (skarn). Infrayace a rocas volcánicas del Grupo Barroso. En muestra de mano, el color de la roca es de color verdoso a gris claro (Olchauski y Dávila, 1994).

2.1.4. Grupo Barroso (TQp-ba1)

En la zona de estudio el Grupo Barroso consiste en rocas volcánicas (flujos de lava) andesíticas de grano medio con cristales bien formados de plagioclas. En la zona de Viraco, las lavas son andesíticas, de color gris oscuro a negro, de textura granular. Debido a la alta resistencia de los depósitos de flujos de lava a la erosión, las lavas se encuentran en la cima de las colinas y terrazas, mostrando una inversión topográfica.

2.1.5. Complejo Volcánico Coropuna - Evento 2 (Qp-coE2)

Consiste en depósitos de flujos de lava, domos y depósitos piroclásticos ricos en cristales, de color gris violáceo con cristales de biotita y cuarzo, se presentan en las partes bajas de las laderas. Se aprecia ligeramente meteorizada y medianamente fracturada.

2.1.6. Depósito aluvial (Qh-al)

Acumulaciones de sedimentos inconsolidados por cantos subredondeados, heterogéneos, envueltos en matriz de limos y arcillas, transportados por los ríos formando barras. Grava subangulosas a subredondeadas con una matriz areno-limosa.

2.1.7. Depósito coluvial (Qh-col)

Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad. Estos se acumulan en vertientes o márgenes de los valles, como también en laderas superiores; en muchos casos son resultado de una mezcla de ambos.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos varían de suavemente inclinados ($1^\circ - 5^\circ$) a moderado ($5^\circ - 15^\circ$), estas pendientes son comunes en las zonas de laderas bajas al nevado Coropuna, formando mesetas cortadas por quebradas y barrancos formados por los arroyos que descienden por los flancos del complejo volcánico Coropuna. Los bordes de las quebradas muestran pendientes muy fuertes a escarpados ($25^\circ - 45^\circ$), y en algunos casos muy escarpados ($>45^\circ$).

El centro poblado de Viraco se asienta sobre una superficie suavemente inclinada. Las zonas con pendientes suaves a moderadas son aprovechadas en su mayoría como terrenos agrícolas, la cual, es la actividad económica más importante.

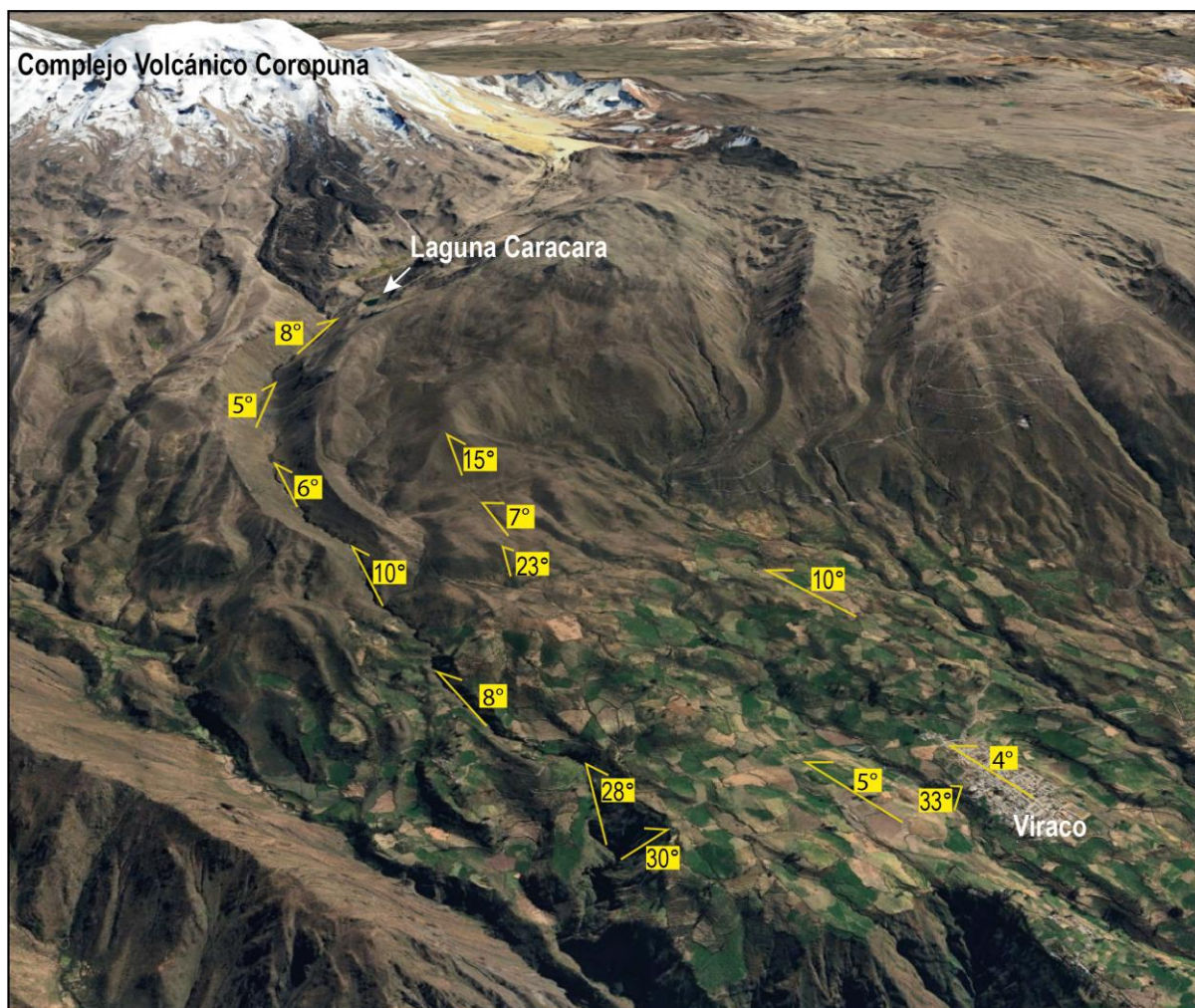


Figura 3. Imagen Google Earth mostrando las pendientes en zonas aledañas al centro poblado de Viraco.

Tabla 3. Clasificación de pendientes.

Rangos de pendientes del terreno (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte a escarpado
>45	Muy escarpado

4.2. Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector evaluado, se ha empleado la publicación de Villota (2005) y la clasificación de unidades geomorfológicas utilizadas en los estudios del INGEMMET; cuyas concepciones se basan en considerar el efecto de los procesos morfodinámicos siguientes:

- Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos
- Geoformas de carácter depositacional o agradacional

La evolución del relieve se presenta en el mapa geomorfológico (Anexo 2).

4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional o denudativos

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

4.2.1.1. Unidad de Montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub-aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968).

Montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Esta subunidad, ocupa la parte sur de la zona evaluada, principalmente en los cerros Curhuani y Mauca Chupacra. Presenta cerros con altura superior a 300 m desde su línea base, con laderas que presentan anticlinales y sinclinales. Las laderas erosionadas presentan pendientes que varían desde fuertes hasta abruptas (25° - 50°). Litológicamente está compuesta por secuencias de areniscas y lutitas, las cuales se caracterizan por presentar derrumbes y deslizamientos.

Estratovolcán (Es-v): Esta unidad geomorfológica está representada por el Complejo Volcánico Coropuna y el volcán Cuncaicha. Las rocas volcánicas que constituyen esta unidad se encuentran fuertemente afectadas por la erosión glacial.

4.2.2. Geoformas de carácter erosional

Laderas disectadas: están constituidas por laderas alargadas formadas por depósitos de flujos de lava, de dirección NO-SE que son disectadas por quebradas relativamente

profundas. Estas quebradas discurren en forma subparalela desde el flanco sur del Complejo Volcánico Coropuna y el cerro Cuncaicha.

Valles y quebradas: forman parte de afluentes del río Majes, tienen dirección SE y están controlados por fallas de dirección NO-SE. En la zona de Viraco descienden por topografías con pendiente moderada, y aguas abajo se profundizan formando quebradas con paredes abruptas.

4.2.3. Geoformas de carácter depositacional o agradacional

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

4.2.3.1. Unidad de piedemonte

Ambiente de agradación que constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este ambiente predominan los depósitos continentales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Corresponde a acumulaciones de materiales sueltos al pie de sistemas de montañas o colinas.

Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial; se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales. Estos se encuentran acumulados al pie de las laderas. Esta subunidad geomorfológica es visible en las partes bajas de las quebradas y son utilizadas como terrenos de cultivo.

Vertiente glacio-fluvial (V-gfl): Formada por la acumulación de materiales de origen glaciar, los cuales han sido transportados y redepositados por escorrentías formadas por el deshielo del glaciar o por precipitaciones pluviales que se concentran; forman cursos de agua y transportan los materiales sueltos, Gomez & Pari (2020). Estas geoformas son visibles en la parte baja de los flancos del Nevado Coropuna.

Morrenas (Mo): formada por la acumulación de material detrítico de diversos tamaños y formas. En la zona de estudio, las morrenas provienen de la erosión de las rocas volcánicas del Coropuna y el volcán Cuncaicha, formando relieves suaves.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos más recurrentes en la zona de estudio, corresponden a movimientos en masa, flujos de detritos, caída de rocas, avalancha de detritos, así como también procesos de erosiones de ladera. Tipificados según la clasificación de la guía para la evaluación de amenazas del Proyecto Multinacional Andino: GCA, 2007.

Estos peligros son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como por la incisión sufrida en los cursos de la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas. Coadyuvado por la alternancia de rocas de diferente competencia, así como la presencia de fallas geológicas, anticlinales, sinclinales, inestabilizando los afloramientos y depósitos de eventos antiguos. Próximo a la zona, se extiende la falla Pampacolca-Quichuaña (Benavente et al., 2017), la cual podría generar sismos significativos.

El centro poblado de Viraco, se asienta sobre depósitos de flujos de lava andesítica provenientes de un antiguo volcán denominado Cuncaicha. Estos eventos se emplazaron por las pendientes bajas, alcanzando distancia de ~13 km; sin embargo, se observa un flujo de lava que alcanzó hasta 20 km, debido a que se encausó en el cauce de una quebrada antigua. Las características litológicas de los depósitos de flujos de lava, junto con la pendiente suave-moderada, hace que, a escala local, la zona urbana de Viraco presente una baja exposición a caída de rocas, deslizamientos o avalanchas de detritos.

No obstante, debido a su relativa cercanía al nevado Coropuna (~14 km), puede verse afectada por la ocurrencia de flujos de detritos (lahares) en las quebradas aledañas.

5.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Flujos de detritos (lahares)

Se trata de flujos muy rápidos a extremadamente rápidos, que se movilizan principalmente confinados a lo largo de un cauce o canal con pendiente pronunciada. Se inician por deslizamientos superficiales o movilización de material detrítico sobresaturado en la cabecera o en segmentos de los cauces. Estos eventos incorporan material en su trayectoria a lo largo del canal (sobre todo en zonas de pendientes fuertes) incrementado su volumen, y depositan el material en zonas con pendientes más bajas.

La ocurrencia de los flujos de detritos en la zona de estudio y principalmente en las quebradas del flanco sur del complejo volcánico Coropuna, se desencadena por la saturación de los suelos y el descenso de las aguas durante los periodos de precipitación pluvial o por el desprendimiento de bloques de hielo en el nevado Coropuna.

En el año 2016, en la cabecera del río Tastane, ocurrió el desprendimiento de un bloque grande de hielo (volumen no calculado) en la parte occidental del nevado Coropuna, originando un flujo de detritos que causó daños en la zona de pastoreo de “Los Nevados” (Fig. 4), bocatomas y canales de riego en los distritos de Pampacolca y Tipan.

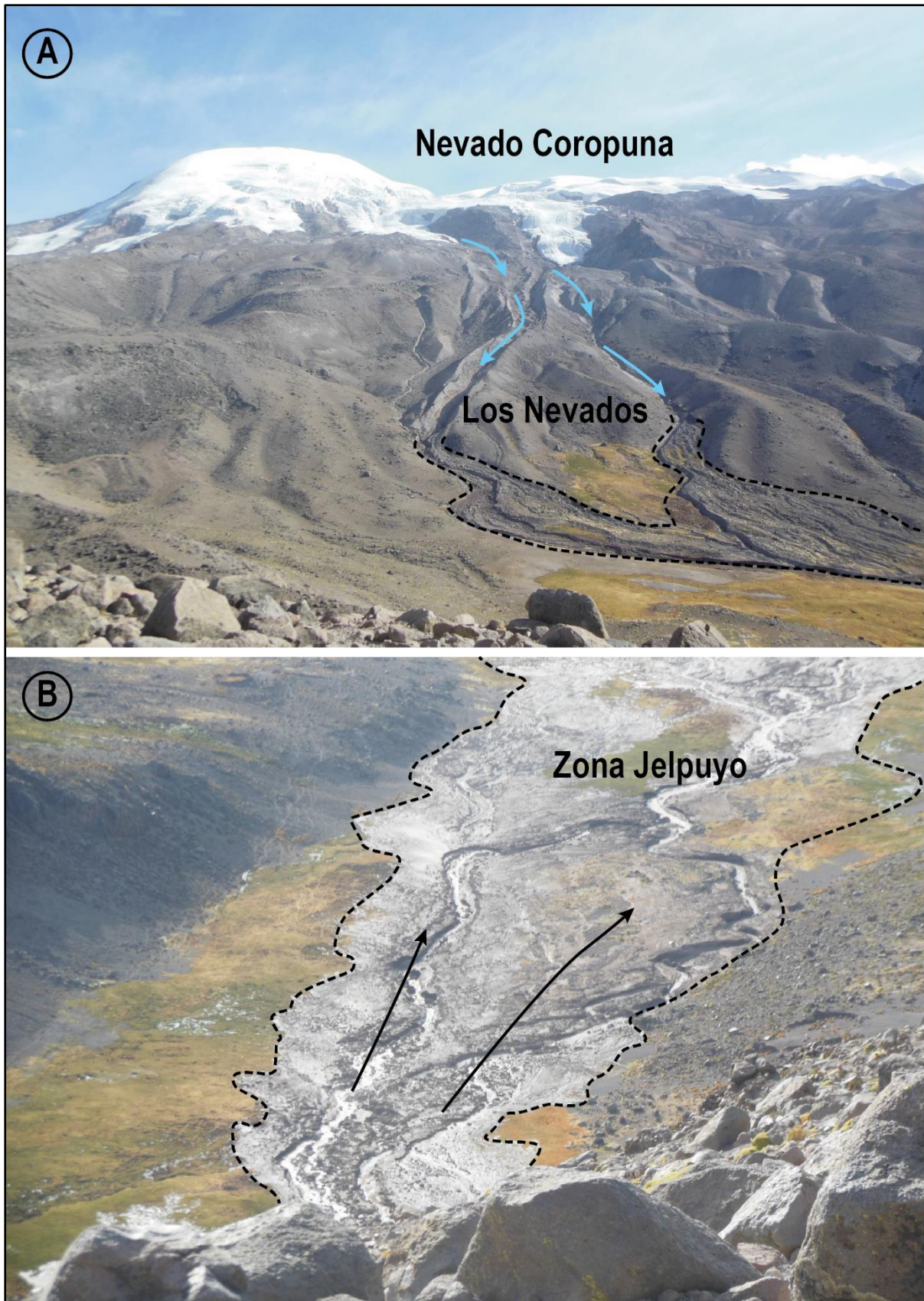


Figura 4. Zonas de inicio (A) y zona de afectación (B) por flujos de detritos (lahares) ocurridos en el flanco sur del complejo volcánico Coropuna, diciembre de 2016. Imagen modificada a partir de fotografías tomadas por la Autoridad Nacional del Agua, 2016.

En diciembre de 2023, otro flujo de detritos se emplazó por la quebrada Cospanja, afectando la bocatoma del canal de captación de suministro de agua (uso agrícola y ganadero) para el centro poblado de Viraco. Debido a que, en las semanas precedentes al evento, no se registraron precipitaciones pluviales considerables, se asume que, el flujo de detritos fue desencadenado por el desprendimiento de uno o varios bloques de hielo en el extremo oriental del nevado Coropuna (Figs. 5).



Figura 5. Cauce de la quebrada Cospanja, cerca de la laguna Caracara, por la que descendió el flujo de detritos en diciembre 2023. El polígono celeste delimita el nivel que alcanzó el flujo. Foto: R. Portilla.

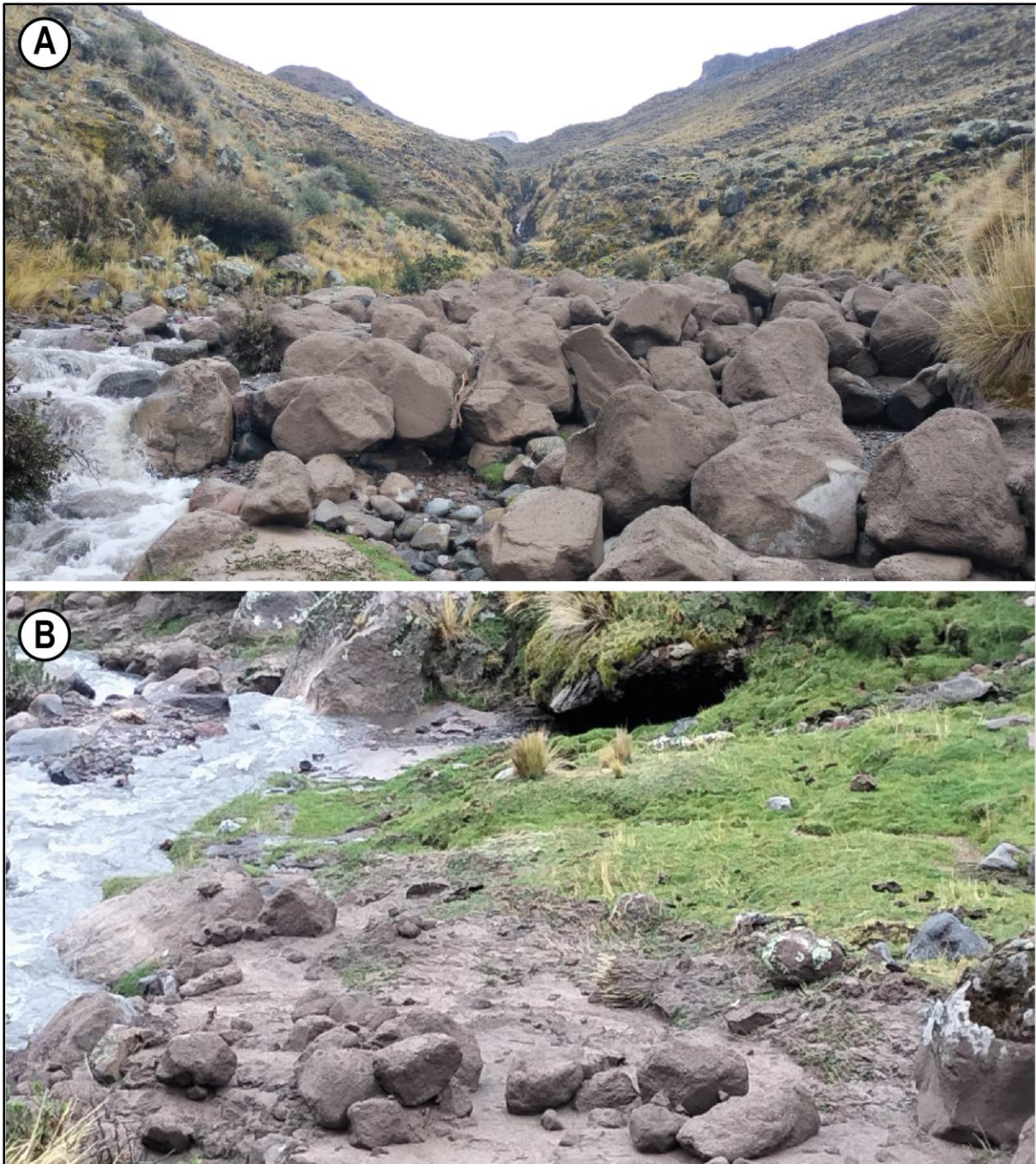


Figura 6. Acumulación de material detrítico arrastrado y depositado por el flujo de detritos ocurrido el 8 de diciembre 2023 en las quebrada Cospanja. Fotos: R. Portilla.



Figura 7. Canal de irrigación que arrastró material fino (lodo) causando inconvenientes en el suministro de agua para la actividad pecuaria. Foto. R. Portilla.

El mapa de peligros por flujos de detritos (lahares) en la zona de estudio, se utilizó el algoritmo LAHARZ (Mastin et al., 2021). Este mapa muestra la extensión de las zonas de inundación en caso ocurran flujos de detritos causados por intensas precipitaciones pluviales, por derretimiento del glaciar o por desprendimiento repentino de bloques de mismo.

La zona de color rojo representa un peligro alto. Esta es donde hay mayor probabilidad de ser afectada por flujos de detritos de volúmenes menores a 1.5 millones de m^3 , alcanzando distancias aproximadas de 20 km por las quebradas que descienden por el flanco sur del Complejo Volcánico Coropuna.

La zona de color anaranjado es de peligro moderado, puede ser afectada por flujos de hasta 10 millones de m^3 , que tienen un alcance máximo de 40 km (e.g. Valdivia, 2019).

La zona de color amarillo es de peligro bajo, delimita áreas con menor probabilidad de ser afectadas por flujos voluminosos. Esta puede ser cubierta por flujos de hasta 20 millones de m^3 , y alcanzar un máximo de 50 km, alcanzando el río Majes.

Como se observa en el mapa de peligros (Figura 8), los flujos de detritos (lahares), las zonas propensas a ser afectadas están controladas por la topografía. Están confinadas en las quebradas, puesto que presentan cauces relativamente profundos, lo que evita el desborde de los flujos. Sin embargo, es importante señalar que, en la zona de paso de estos flujos de detritos, se encuentran obras de infraestructura como canales de irrigación, bocatomas, o carreteras que podrían verse afectadas.

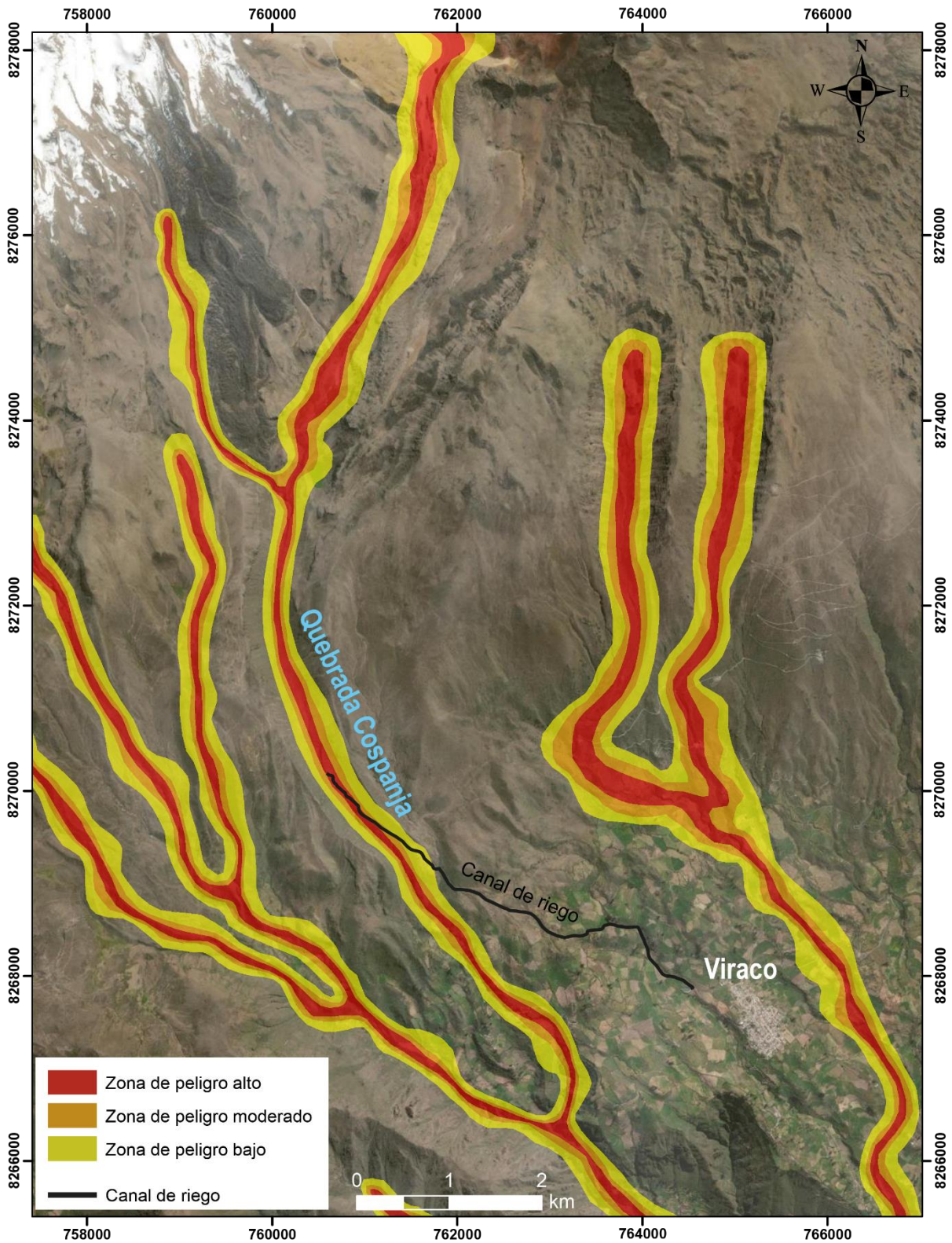


Figura 8. Mapa de peligros por flujos de detritos (lahares) de las zonas aledañas al centro poblado de Viraco.

5.2. Otros peligros geológicos – peligros volcánicos

Los peligros geológicos a los que la zona de estudio estaría expuesta están relacionados a la actividad eruptiva del complejo volcánico Coropuna, debido a su cercanía. Sin embargo, la ocurrencia de este fenómeno tiene un periodo de recurrencia comprendido entre cientos y miles de años. Además, la actividad que presentó el Coropuna en el pasado geológico, está caracterizado por la emisión de flujos de lava, cuya área de afectación se localiza en las zonas proximales al centro de emisión (< 10 km).

5.3. Factores condicionantes

- Litológicamente el área está condicionada por la presencia de depósitos de flujos de lava andesíticas, emplazadas sobre areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas de la Formación Labra. Las rocas volcánicas de tanto del complejo volcánico Coropuna, como del antiguo volcán Cuncaicha se encuentran afectadas por la erosión glacial pasada, formando grandes depósitos de morrenas acumulados en los flancos. Estas acumulaciones de detritos sueltos son material disponible para la remoción y acarreo, que dan origen a los flujos de detritos (lahares).
- Los depósitos aluviales, coluviales y coluvio-deluviales, poco consolidados acumulados cerca de los cauces de las quebradas, permiten la infiltración y retención del agua proveniente de la lluvia. Lo cual conlleva a la saturación y aumento de peso de la masa inestable.
- Las pendientes de los terrenos varían de moderado (5°- 15°) a fuerte (15°- 25°), una zona media de las laderas donde se observa cambios del terreno a pendientes muy fuertes (25°- 45°), en sectores encañonados pendientes muy escapados (>45°), lo que permite que el material inestable de la ladera, con la presencia de agua (lluvia), se desplace fácilmente cuesta abajo.
- El retroceso glacial registrado en el nevado Coropuna, acelerado por el fenómeno de calentamiento global, aporta considerables volúmenes de agua que descienden por las quebradas, incrementando la posibilidad de la ocurrencia de flujos de detritos.

5.4. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias; las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material inestable y las fuerzas tendientes al desplazamiento. Según información disponible, en la zona se presentaron precipitaciones de hasta 50 mm. según la estación Machahuay (SENAMHI). Precipitaciones por encima de 40 mm, pueden generar reactivaciones de los deslizamientos y flujos de detritos.
- Desprendimientos de bloques de glaciares que aportan repentinamente grandes volúmenes de agua hacia las quebradas.
- Los movimientos sísmicos pueden generar desprendimientos de rocas desde las partes altas, derrumbes y avalanchas de detritos.
- Según la ubicación de los epicentros correspondientes a los sismos ocurridos en la región sur del Perú entre los años 1960 al 2016 ($M > 4.0$). Son de origen directo en el proceso de convergencia de placas, Nazca y Sudamericana. Además, muestran la geometría de la placa de Nazca dentro del proceso de subducción; es decir, subducción del tipo normal, tal como fue descrito por Stauder (1975), Cahill y Isacks (1991), Tavera y Buforn (2001).

6. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

1. La susceptibilidad a los movimientos en masa, principalmente flujos de detritos y caída de rocas en la zona es alta y está condicionada por la existencia de material poco consolidado acumulado en las morrenas, la pendiente natural de la ladera, la escasa cobertura vegetal, presencia de agua subterránea y las precipitaciones pluviales.
2. Litológicamente en el área afloran depósitos de flujos de lava andesítica acumulados en los flancos sur y sureste el complejo Volcánico Coropuna y el volcán Cuncaicha, alcanzando distancias de hasta 20 km desde la cima del volcán. El centro poblado de Viraco se encuentra asentado sobre estos depósitos de flujos de lava. En la parte baja (en las quebradas) afloran areniscas, limolitas, lutitas moderadamente meteorizadas y fuertemente fracturadas de la Formación Labra.
3. Geomorfológicamente el sector evaluado, se ubica sobre la unidad de estratovolcán y la vertiente glacio-fluvial, aunque el substrato de esta capa superficial, consiste en depósitos de flujos de lava que presentan mayor estabilidad. Las laderas donde se ubica el centro poblado de Viraco presenta pendiente suaves (4° - 10°). Las quebradas presentan pendientes variables (5° - 28°), y las paredes de estas quebradas presentan pendiente más fuertes ($< 33^{\circ}$).
4. Los peligros geológicos son principalmente flujos de detritos (lahares), que descienden por las quebradas que se originan en los flancos superiores de los volcanes Coropuna y Cuncaicha. El material detrítico disponible se encuentra en los materiales no consolidados en las quebradas y en las morrenas laterales cerca de las quebradas. El agente movilizador de este material es el agua proveniente de las precipitaciones pluviales, el deshielo o el colapso repentino de bloques del glaciar del Nevado Coropuna.
5. El mapa de peligros por flujos de detritos (lahares) delimita las zonas propensas a ser afectadas por este tipo de peligro. Estas están restringidas principalmente a los cauces de las quebradas. Sin embargo, existen obras de infraestructura como canales de irrigación y carreteras que cruzan las quebradas, las cuales están expuestas a daños en caso ocurra una avenida repentina.
6. El centro poblado de Viraco se encuentra sobre una meseta flanqueada por pequeñas quebradas que superan los 30 m de profundidad y de recorrido corto (~3.5 km) la probabilidad de que centro poblado (zona urbana) sea afectada por flujo de detritos es **muy baja**, o casi nula. Sin embargo, las quebradas que se originan en las partes altas del complejo volcánico Coropuna, como es el caso de la quebrada Cospanja, son muy susceptibles a ser afectadas por estos eventos, que pueden causar daños en las bocatomas, canales de irrigación y vías de acceso que se encuentran o atraviesan el cauce de estas quebradas.

7. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de los peligros geológicos. Así mismo, la implementación de dichas recomendaciones permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros antes mencionados.

1. Considerar el mapa de peligros por flujos de detritos para la planificación de actividades y la construcción de obras de infraestructura, ordenamiento del territorio y desarrollo de las actividades económicas.
2. Desarrollar obras para la protección de la bocatoma de captación de agua en la Quebrada Cospanja para uso agrícola y pecuario.
3. Mantener limpios los cauces de las quebradas, principalmente en zonas cercanas a puntos de captación de agua para riego, o zonas agrícolas.
4. Desarrollar actividades de educación y sensibilización de los pobladores frente a la ocurrencia de flujos de detritos con el fin de estar preparados ante una avenida repentina.



Rigoberto Aguilar Contreras



ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

BIBLIOGRAFÍA

Luque, G.; Pari, W. & Dueñas, K. (2021) - Peligro geológico en la región Arequipa. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 81, 300 p., 9 mapas. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/3160>

Luque, G. & Rosado, M. (2014) - Zonas críticas por peligros geológicos en la región Arequipa. Primer reporte informe inédito. Lima: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 110 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2015>

Mastin, L.; Randall, M.; Schwaiger, H. & Denlinger, R. (2021) - User's Guide and Reference to Ash 3D-A Three-Dimensional Model for Eularian Atmospheric Tephra Transport and Deposition. (ver. 2.0, April 2021) U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1122, 25 p., Disponible en: <https://doi.org/10.3133/ofr20131122>.

Quispesivana, P. (2001). Mapa geológico del cuadrángulo Chuquibamba (32-q). a escala 1: 100 000, elaboradas por INGEMMET.

Benavente, C.; Delgado, G.; García, B.; Aguirre, E.; Audin L. (2017) - Neotectónica, evolución del relieve y peligro sísmico en la Región Arequipa, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica N°64, 370 p.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2022). El mapa geológico integrado del Perú versión 2022, es el resultado de la integración de 1005 mapas geológicos escala 1:50 000, los cuales fueron realizados por cuadrantes de un área promedio de 650 km².

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2008). Peligros geológicos en el anexo Yacmes. Distrito Tipan, Provincia Castilla, Departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A5750, 37p.

Valdivia, M. (2017). Explotación del oro y caracterización microscópica del mineral para su recuperación óptima sostenible en la pequeña minería y artesanal del sur del Perú. Tesis para optar el título académico de magister en ciencias de la tierra – Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

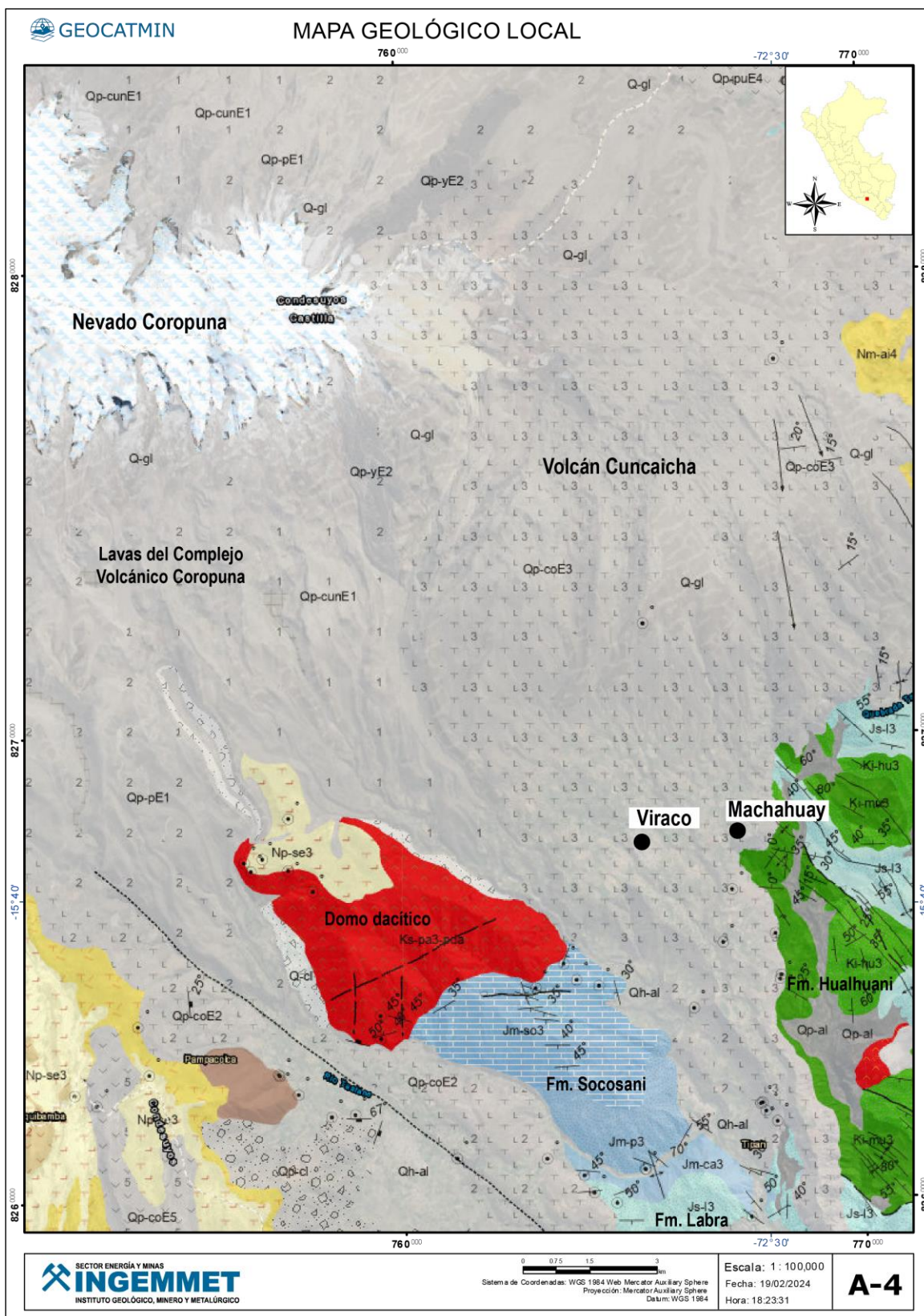
Cruden, D. M., Varnes, D.J., (1996). Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.

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.

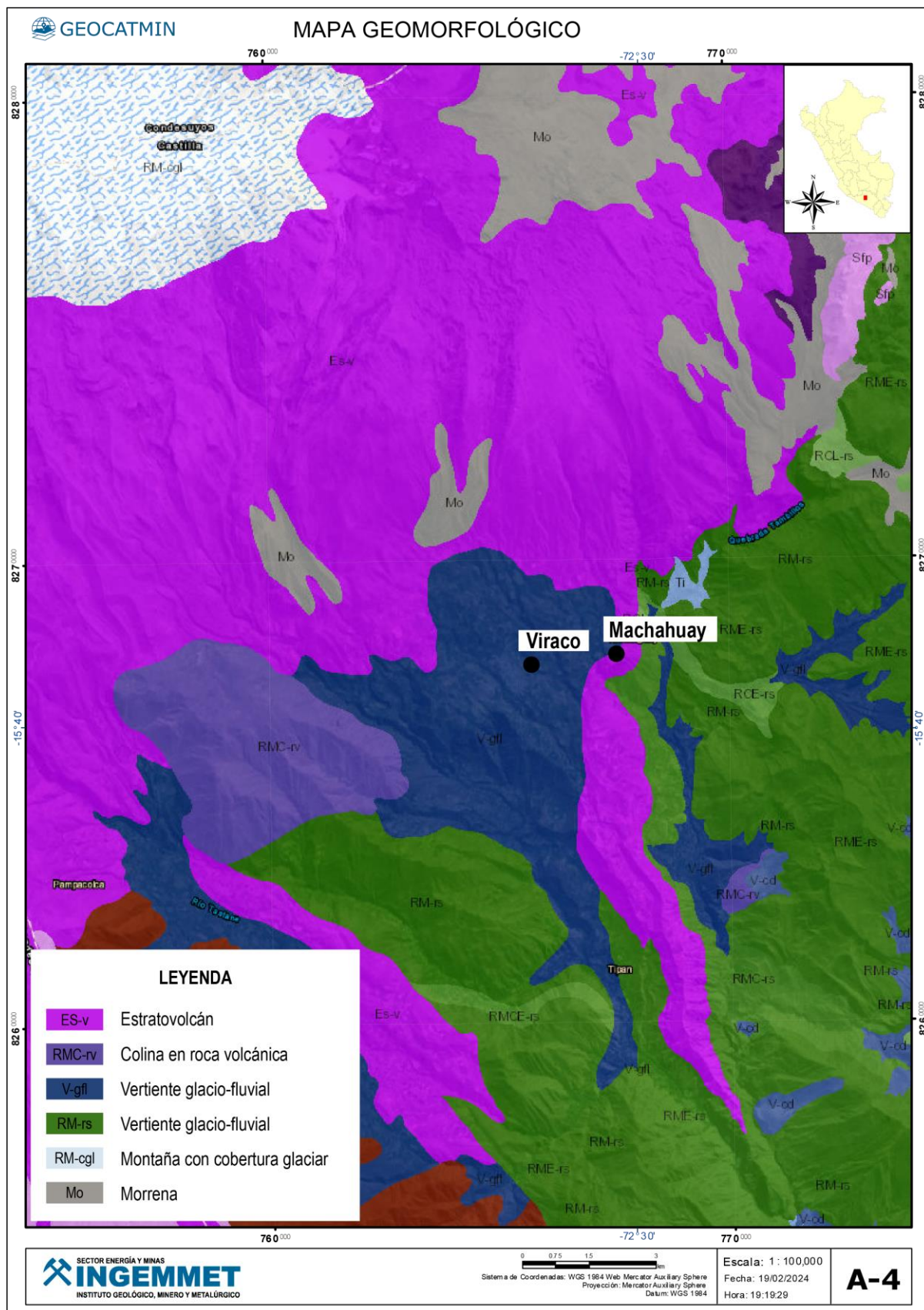
Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ad, Landslides analisis and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 176, p. 9-33

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

ANEXO 1: MAPAS



Mapa N° 1. Mapa geológico del centro poblado de Viraco y zonas aledañas. Tomado y modificado de Quispesivana, P. (2001). y el mapa geológico integrado del Perú versión 2022 del INGGEMMET.



Mapa N° 2. Muestra el mapa geomorfológico del centro poblado de Viraco y zonas aledañas: Tomado del mapa geomorfológico a estala 1:200,000 del INGEMMET.

ANEXO 2. ALTERNATIVAS PARA EL MANEJO DE PROBLEMAS POR PELIGROS GEOLÓGICOS

Se dan algunas propuestas de solución de forma general para la zona de estudio, con la finalidad de minimizar las ocurrencias de caídas de rocas, avalancha de detritos, flujos (huaicos), procesos de erosiones de laderas, entre otros, así como también para evitar la generación de nuevas ocurrencias.

La estabilidad de una pendiente mejora cuando se llevan a cabo ciertas acciones. Para tener éxito, primero hay que identificar el proceso de control más importante que está afectando la estabilidad del talud. En segundo lugar, hay que determinar la técnica adecuada que debe aplicarse suficientemente para reducir la influencia de ese proceso.

La mitigación prescrita debe diseñarse de manera que se adapte a las condiciones específicas de la pendiente que se esté estudiando. Por ejemplo, instalar tuberías de drenaje en una pendiente que tiene muy poca agua subterránea no tiene sentido. Los esfuerzos por estabilizar una pendiente se realizan durante la construcción o cuando surgen problemas de estabilidad de forma inesperada después de la construcción.

La mayoría de las técnicas de ingeniería de pendientes requieren un análisis detallado de las propiedades del suelo y un conocimiento adecuado de la mecánica del suelo y las rocas subyacentes. En toda situación de alto riesgo, donde un deslizamiento de tierras puede poner en peligro vidas o afectar negativamente la propiedad, siempre es necesario consultar a un profesional experto en derrumbes, por ejemplo, un ingeniero geotécnico o civil antes de emprender cualquier trabajo de estabilización. En las secciones siguientes se ofrece una introducción general a las técnicas que se pueden utilizar para aumentar la estabilidad del talud (Highland & Bobrowsky, 2008).

Corrección por elementos de flujos

Acá se desarrollan las medidas para quebradas de régimen temporal donde se producen huaicos periódicos a excepcionales que pueden alcanzar grandes extensiones y pueden transportar grandes volúmenes de sedimentos gruesos y finos. Con el propósito de propiciar la fijación de los sedimentos en tránsito y de minimizar el transporte fluvial, es preciso aplicar, en los casos que sea posible, las medidas que se proponen a continuación.

Encauzar el cauce principal de los lechos de los ríos o quebradas y aluviales secos, retirando los bloques rocosos en el lecho y seleccionando los que pueden ser utilizados para la construcción de enrocados, espigones o diques transversales artesanales siempre y cuando dichos materiales sean de buenas características geotécnicas. Hay que considerar siempre que estos lechos aluviales secos se pueden activar durante periodos de lluvia excepcional, como en el caso del Fenómeno El Niño; es decir, el encauzamiento debe considerar un diseño que pueda resistir máximas avenidas sin que se produzcan desbordes.

Propiciar la formación y desarrollo de bosques ribereños con especies nativas para estabilizar los lechos (figura 38)

Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrear grandes cantidades de sedimentos durante periodos de lluvia excepcional, cuya finalidad es reducir el transporte de sedimentos gruesos, tales como presas tipo SABO, aplicadas en Japón (este término se usa para describir un grupo de diferentes estructuras que utilizan para controlar un huaico), ya

sea presas de control, de rendijas, con pantalla de infiltración de fondo, tipo rejillas y barras flexibles, fosas de decantación; etc. (debido a la permeabilidad de la red, los flujos se drenan como resultado de la retención del material sólido) (figura 39).



Figura 9. Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilchez, 2021)



Figura 10. Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huacos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles, (Vilchez, 2021)

Sistemas de alarmas

Consisten en la instalación de diversos sistemas o instrumentos, en superficie o en profundidad, con la finalidad de detectar movimiento o medir determinados parámetros relacionados con los movimientos. Los más frecuentes son:

Instalación de inclinómetros y piezómetros en deslizamientos o en laderas cuya inestabilidad supone riesgos importantes (por ejemplo, en las laderas de embalses o de zonas urbanizadas). Se requiere establecer los valores tolerables (de desplazamiento) a partir de los cuales se considera que los movimientos son peligrosos o que pueden acelerarse. Es muy importante tomar los datos con precisión, de preferencia de forma automática, y la interpretación de las medidas obtenidas, así como las decisiones, que deben basarse en juicios expertos. La frecuencia de medida está en función de las características del proceso y de la fase o estado de inestabilidad. Debe prestarse atención también al correcto funcionamiento y mantenimiento de los sistemas.

Sobre la base de las medidas, pueden establecerse correlaciones con las precipitaciones, lo que ayuda a definir los niveles o umbrales de alarma.

- Instalación de redes de cables en laderas rocosas con peligro de desprendimientos, mediante señales eléctricas o de otro tipo (al golpear los bloques desprendidos), que generalmente se instalan en laderas rocosas con vías de ferrocarril y carreteras a su pie. El sistema puede estar conectado con señales que avisen del peligro inminente.
- Instalación de sistema de vigilancia y alerta en las quebradas por flujo de detritos o huaicos, con el propósito de recopilar información sobre flujos en el campo tanto como sea posible para la estación de monitoreo de flujos de detritos eficaz, se tiene como ejemplo el instalado en Taiwan, mediante un seguimiento de sensores como pluviómetro, cámara, medidor de nivel de agua por ultrasonidos, sensor de humedad de suelo, cable sensor y geófonos. Los datos son captados por los sensores de observación, actualizados y transferidos a través de sistemas de transmisión por satélite en tiempo real hacia una página web y móviles desde una cabina instrumental que es la fuente de alimentación de procesamiento de datos (figuras 40 y 41).

Esta información se utiliza no solo para ayudarnos a comprender el mecanismo físico de los flujos sino también para mejorar la exactitud del sistema actual de alerta sobre la base de umbrales de precipitación.



Figura 11. Sensores utilizados para el monitoreo de flujos de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).



Figura 12. Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).