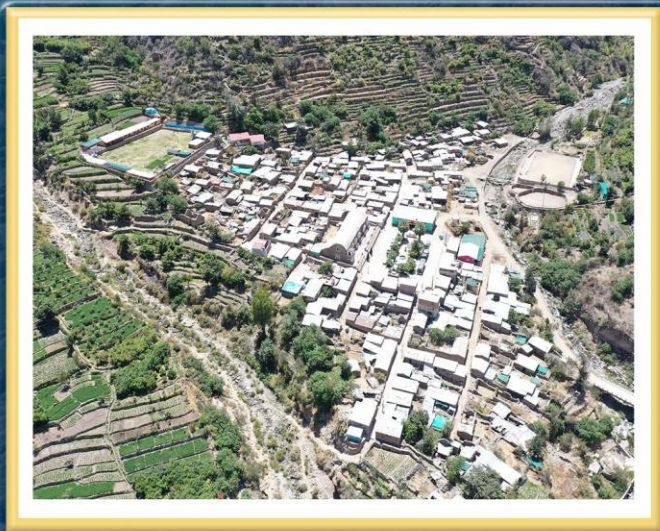


DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7477

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN CHOCO

Departamento Arequipa
Provincia Castilla
Distrito Choco



FEBRERO
2024

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN CHOCO
Distrito de Choco, Provincia Castilla, Departamento Arequipa

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

Equipo de investigación:

Yhon Soncco Calsina

Yeny Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2024). Evaluación de peligros geológicos en Choco. Distrito de Choco, provincia Castilla, departamento Arequipa: Ingemmet, Informe Técnico N° A7477, 44p

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Objetivos del estudio	5
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	5
1.2.1. Ubicación	6
1.2.2. Accesibilidad	7
1.2.3. Precipitación pluvial	8
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
3.1. Unidades litoestratigráficas	10
3.1.1. Complejo Basal de la Costa (NP-cbc-gn,gr).	11
3.1.2. Formación Socosani (Jm-so3).	11
3.1.3. Deposito aluvial (Qp-al)	11
3.1.4. Deposito coluvial (Qh-co)	11
3.1.5. Deposito proluviales (Qh-pl)	12
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	12
4.1. Pendientes del terreno	12
4.2. Unidades Geomorfológicas	13
4.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional.....	13
4.2.2. Geoformas de carácter depositacional o agradacional.....	14
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
6.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	15
6.1.1. Flujo de detritos (huaico) en Choco - 2024.	15
6.1.1. Flujo de detritos (huaico) en Choco - 1998.	21
6.1.2. Avalancha de detritos y caída de rocas	24
6.2. Factores condicionantes	26
6.3. Factores desencadenantes	26
CONCLUSIONES	27
RECOMENDACIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXO 1 MAPAS	31
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 realizado en la zona urbana del distrito de Choco. 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.

En Choco afloran las siguientes unidades litoestratigráficas, a) Complejo Basal de la Costa, compuesto por gneises graníticas, granodioríticas y tonalíticas, las cuales se encuentran entre moderado y altamente meteorizadas y muy fracturadas, b) Formación Socosani, compuesta por limoarcillitas intercaladas con delgados estratos de areniscas, las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas, c) finalmente depósitos cuaternarios, aluviales, coluviales y proluviales, los cuales se aprecian poco consolidados. Geomorfológicamente, se aprecian montañas en roca metamórfica, montaña en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvial y cauce de quebrada estacional.

Los peligros geológicos identificados corresponden a flujo de detritos (huaicos) y avalancha de detritos. La zona urbana de Choco está asentada sobre depósitos de huaicos antiguos (proluviales).

El cauce de la quebrada Challa se angosta al entrar a la zona urbana, este fue aprovechado para la ocupación de viviendas, así como para construcción de un estadio, plaza de toros, Petar, entre otros.

El 22 de enero del 2024 se generó un huaico, que al descender por su cauce afectó a la zona urbana de Choco. El volumen del flujo fue de 2.5 millones de metros cúbicos, este al descender por el cauce del río Challa, arrasó todo lo que encontró a su paso. El factor detonante fue la lluvia excepcional que cayó en la microcuenca de la quebrada. En días anteriores se presentaron lluvias prolongadas que humedecieron y saturaron las laderas.

Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la zona urbana del distrito de Choco es considerada de **Peligro Muy Alto a Alto y Zona Crítica**, frente a movimientos en masa, el sector puede ser afectado por huaicos (flujo de detritos) y avalancha de detritos.

Realizar un estudio de evaluación de peligros EVAR, este debe ser realizado por un evaluador de riesgos acreditado por CENEPRED.

Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), frente a la ocurrencia de nuevos flujos de detritos (huaico). Este debería de implementarse en los ríos Challa y Quichichi.

Finalmente, las autoridades competentes deben implementar ordenanzas, para prohibir:

- La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa.
- La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
- Prohibir la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas y ríos.
- Evitar el crecimiento poblacional hacia las laderas de los cerros con presencia de movimientos en masa. En la actualidad la tendencia de expansión urbana está orientada hacia estas zonas. Es importante mencionar, que el sur del país es una zona de alta sismicidad; en este sentido las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros pueden estar expuestas a desprendimientos de rocas y derrumbes.

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 (ACT11)”, 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 Choco, según los Oficios N°050-2023-GRA/GR; es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el distrito de Choco.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet, designó a los ingenieros Yhon Soncco Calsina y Yeny Ccorimanya Chalco, para realizar la evaluación geológica, geomorfológica, geodinámica y de los peligros geológicos que afectan la zona urbana del distrito de Choco. Los trabajos de campo se realizaron en noviembre del 2023, se complementaron con información y fotografías proporcionadas por personal de la municipalidad distrital de Choco.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de Choco e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos que se presentan en la zona urbana del distrito de Choco; eventos que pueden comprometer la seguridad física de la población, terrenos agrícolas y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- a) 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. Mencionan que, en el distrito de Choco, se presentó un deslizamiento en el sector Ucuchacas, el cual dejó un saldo de 4 muertos, 6 damnificados y una vivienda destruida, evento ocurrido el 11 de enero de 1998. Asimismo, se presentaron huacos

en inmediaciones de la zona urbana de Choco, el cual ocasionó 9 muertes, 19 personas desaparecidas, 46 viviendas destruidas, 7 heridos y 225 damnificados, el evento ocurrió el 29 de enero de 1998.

- b) Romero. D.; & Ticona. P.; (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huambo (32-r). Menciona que, en inmediaciones del distrito de Choco, se presentan rocas del basamento, litológicamente compuesto por gneises, de composiciones graníticas, granodioríticas y tonalíticas blancas, rosadas, y blanco verdosas.
- c) INDECI, (1998) Descripción de las principales emergencias producidas a nivel nacional durante el año 1998. El 11 de enero 1998, a consecuencia de las lluvias intensas se produjo un deslizamiento ocasionando daños a la población del Anexo de Ucuchachas, perteneciente al distrito de Choco, Provincia de Castilla – Arequipa. Daños: 06 personas damnificadas, 04 personas fallecidas y una 01 vivienda destruida.
- d) INDECI, (1998) Descripción de las principales emergencias producidas a nivel nacional durante el año 1998. El 29 de enero de 1998, a consecuencia de las precipitaciones pluviales se produjo el descenso de huaico, ocasionando daños en el distrito de Choco-Provincia de Castilla-Arequipa. Daños: 225 personas damnificadas, 07 personas heridas, 09 personas fallecidas, 19 personas desaparecidas y 46 viviendas destruidas.

1.2.1. Ubicación

El área evaluada está ubicada en el distrito de Choco, provincia Castilla, departamento Arequipa (figuras 1 y 2), dentro de las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas de área evaluado en el distrito de Choco

N°	UTM - WGS84 - Zona 18S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	807441	8276737	-15.568424°	-72.133598°
2	808592	8276722	-15.568419°	-72.122875°
3	808574	8275327	-15.581017°	-72.122867°
4	807420	8275344	-15.581004°	-72.133619°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
<i>San Miguel</i>	807940	8275899	-15.575930°	-72.128845°

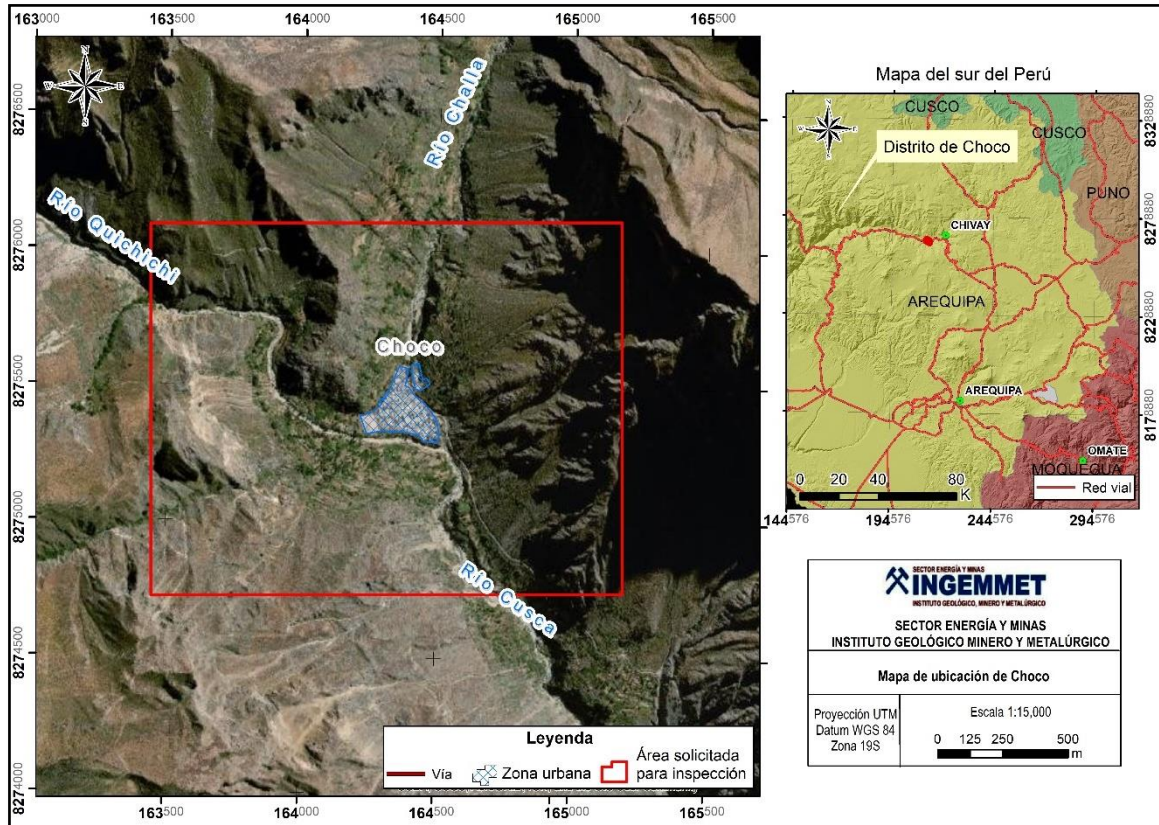


Figura 1. Ubicación del área de evaluación

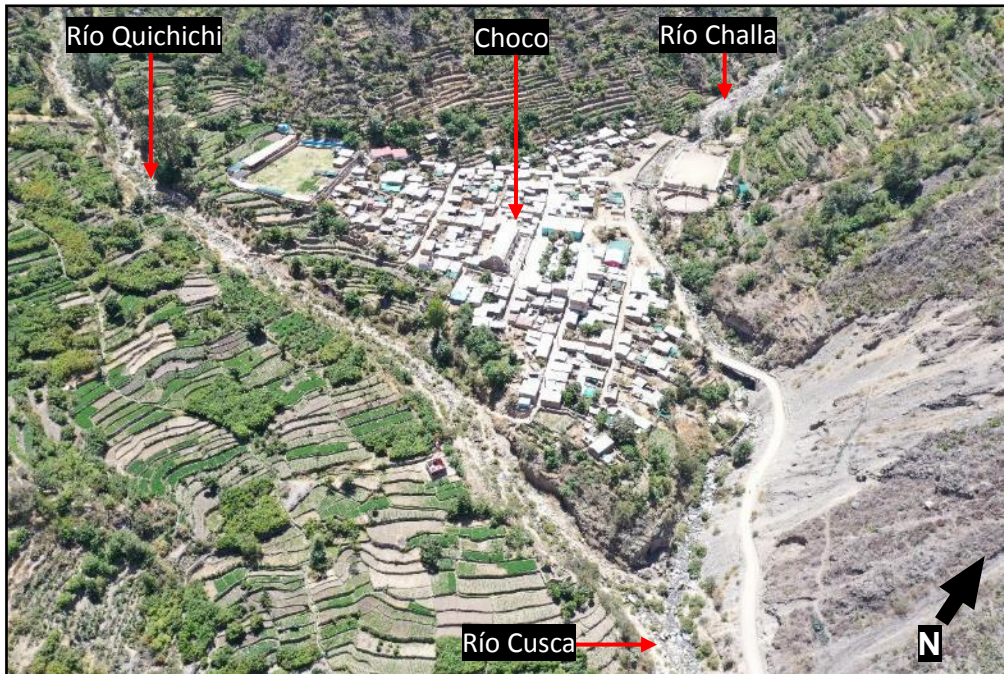


Figura 2. Vista de la zona urbana del distrito de Choco.

1.2.2. Accesibilidad

El acceso al área de estudio se realizó por vía terrestre partiendo desde Arequipa y se siguió la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Arequipa – Chivay	Asfaltada	169	3 h 15 min
Chivay – Cabanaconde	Asfaltada	55	1 h 15 min
Cabanaconde – Choco	Carrozable	30	1 h 10 min

1.2.3. Precipitación pluvial

Según la información disponible de la estación meteorológica Choco, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi), los valores de precipitación se muestran en el gráfico 1. Donde se tiene una data de una ventana de tiempo desde 1964 hasta el 2014, con datos de precipitación diaria. La mayor precipitación es de aproximadamente 40 mm.

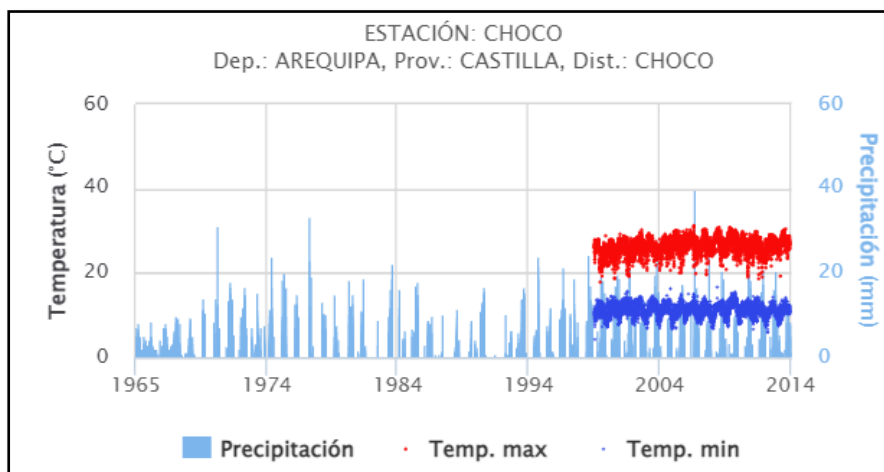


Figura 3. Precipitación diaria según la estación Choco (Senamhi). Ventana de tiempo 1964 al 2014.

2. DEFINICIONES

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

AGRIETAMIENTO (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.

CAÍDAS: 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.

Cuando el magma se aproxima a la superficie, pierde todo o parte de los gases contenidos en solución, formando burbujas en su interior; bajo estas condiciones, se pueden presentar dos escenarios principales:

- Si los gases del magma se liberan sin alterar la presión del medio, el magma puede salir a la superficie sin explotar. en este caso se produce una erupción efusiva.
- Si el magma acumula más presión de la que puede liberar, las burbujas en su interior crecen y el magma se fragmenta violentamente, produciendo una erupción explosiva.

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

Para el análisis geológico se tomó como referencia el mapa geológico del cuadrángulo de Huambo 32-r. Darwin Romero Fernández y Pedro Ticona Turpo (2003). Se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotografías aéreas y observaciones de campo.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponde a rocas del Complejo basal de la costa, seguido de niveles sedimentarios de la Formación

Socosani, además de depósitos aluviales, coluvio-deluviales y proluviales. (Anexo 1, mapa 1).

3.1.1. Complejo Basal de la Costa (NP-cbc-gn,gr).

Corresponde a rocas del basamento; en este sector infrayace en discordancia angular a la Formación Socosani (figura 4). Litológicamente está compuesto por gneises, de composiciones graníticas, granodioríticas y tonalíticas blancas, rosadas, y blanco verdosas. La unidad aflora en cuerpos aislados y limitados por fallas de dirección andina (NO-SE), generalmente intruido por rocas graníticas y dioríticas. Los mayores afloramientos se encuentran en inmediaciones de la zona urbana del distrito de Choco. Las rocas se encuentran entre moderado y altamente meteorizadas y medianamente fracturadas. (fotografía 1)



Fotografía 1. Rocas del complejo de la Costa

3.1.2. Formación Socosani (Jm-so3).

Esta unidad está compuesta litológicamente por limoarcillitas intercaladas con delgados estratos de areniscas y con presencia de abundante nódulo calcáreo fosilífero. Presenta un grosor de 500 m aproximadamente. Aflora en inmediaciones de la zona urbana de del distrito de Choco, principalmente en la parte alta de los cerros Merqueta, Qaicawiri, y Jamanía. Las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas.

3.1.3. Deposito aluvial (Qp-al)

Corresponden a los mayores depósitos Cuaternario. Están constituidos por gravas y bloques subangulosos a subredondeados envueltos en una matriz limo-arenosa. Se distribuye principalmente en el fondo de los valles de los ríos Challa y Quichichi, formando terrazas aluviales a del curso de los ríos Quinchichi y Chula.

3.1.4. Deposito coluvial (Qh-co)

Estos depósitos sufrieron transportes cortos antes de ser redepositados. Los mayores afloramientos de este tipo se observan en las laderas de los cerros Merqueta, Qaicawiri, y

Jamania. Se componen de gravas y bloques subangulosos a angulosos que presentan una matriz limoarenosa.

3.1.5. Deposito proluviales (Qh-pl)

Este depósito sufrió bastante erosión, se conserva únicamente como remanentes, adosados en las zonas externas de las sinuosidades. Sin embargo, es un indicativo de que, en el paso ocurrieron grandes eventos de flujos de detritos (huaicos). Es poco consolidado.

EDAD			UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	UNIDADES PLUTÓNICAS Y SUBVOLCÁNICAS	
Eratemo	Sistema	Serie					
		Holoceno	Depósitos Coluvio-aluviales	Qph-co-al	Bloques y gravas angulosos a subangulosos, presentan una matriz arenolimsa no muy importante.		
CUATERNARIO	Pleistoceno	Gpo. Antishua	Miembro superior	Qp-an-s	Coladas volcánicas negras afáníticas, de composición andesítica a andesítica basáltica, se presenta menos erosionada.	SUPERUNIDAD TIABAYA Plutones de Andamayo-Luceria, Llanca, Sucna, Chocco y NE de Cancoco Granito-tonalita Granodiorita Tonalita Diorita Ks-tigr Ks-tigr-to Ks-tigd Ks-tifo Ks-tidi	
			Miembro inferior	Qp-an-i	Coladas volcánicas negras afáníticas, de composición andesítica a andesítica basáltica, muestra mayor erosión y meteorización.		
		Dep. fluviales	Qp-f	Gravas heterogéneas, subredondeadas a redondeadas, con matriz arenosa, se intercalan con arenas de grano medio a grueso y algunos niveles de limos.			
		Dep. Aluviales	Qp-al	Gravas subangulosas a subredondeadas con matriz arenolimsa.			
		Depósitos de travertinos	Qp-tr	Travertinos de color crema, estratificados			
		Depósitos lacustres	Qp-ls	Limoarcillas arenosas intercaladas con arenas y algunos			
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Fm. Ashua	Ks-as	Areniscas rojas y gris claras con laminación oblicua curva y horizontal; intercalada con lutitas rojas y verdes, calizas fosilíferas y yesos. Algunos estratos de areniscas muestran canales de microconglomerados		
			Disc.				
			Fm. Arcurquina	Ks-ar	Secuencias monótonas de calizas grises y cremas bien estratificadas, con abundante contenido fosilífero, presenta chert y algunos niveles esporádicos de lutitas grises.		
		Inferior	Fm. Murco	Ki-mu	Areniscas rojas con laminación oblicua y horizontal, intercaladas con lutitas rojas y verdes, con yesos, presenta dos bancos de areniscas cuarzosas blancas.		
			Fm. Hualhuani	Ki-hu	Areniscas cuarzosas blancas con laminaciones oblicuas, curvas y horizontales de grano fino a grueso, intercaladas con lutitas grises, formando secuencias de grano y estrato crecientes.		
	JURÁSICO	Superior	Fm. Gramadal	Js-gr	Lutitas grises, rojas y verdes, intercaladas con estratos de calizas fosilíferas pardas y areniscas cuarzosas blancas y pardas.		
			Fm. Labra	Js-la	Areniscas blancas y grises con laminaciones oblicuas curvas y horizontales de grano fino a grueso, intercaladas con niveles de lutitas negras y grises. Forman secuencias de grano y estrato crecientes		
		Medio	Fm. Cachios	Jms-ca	Lutitas grises y gris oscuras intercaladas con esporádicos estratos delgados de areniscas grises.		
			Fm. Puente	Jm-pu	Areniscas masivas grises, verdes y pardas, de grano fino a medio, intercaladas con lutitas negras a veces laminadas. Algunas veces presentan bioturbación.		
				Fm. Socosani	Jm-so		Calizas grises a negras, fosilíferas, con olor fétido, intercaladas con lutitas negras, finamente laminadas, se intercalan también delgados estratos de areniscas grises. Hacia la parte superior lutitas negras fosilíferas con abundante nódulo calcáreo.
	Inferior	Fm. Chocolate	Ji-ch	Brechas volcánicas verdosas intercaladas con algunos niveles de coladas volcánicas de composición andesítica.			
		Paleozoico Indiferenciado	Pal. ind.	Metavolcánicos grises y gris verdosos esquistosos, intercalados con pizarras y esquistos. También esquistos y pizarras gris oscuros a negros, se intercalan con esporádicos estratos de cuarcitas grises a verdes.			
PALEO-PROTEROZOICA		Disc. Complejo Basal de la Costa	Pe-gr	Ortogneises de composición granítica a granodioríticas blancas, rosadas y verdes, micaesquistos blancos verdosos.			

Figura 4. Leyenda generalizada de la geología del cuadrángulo de Huambo (32-r). Darwin Romero Fernández y Pedro Ticona Turpo (2003). Se enmarca con rojo las unidades aflorantes en el área.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

4.1. Pendientes del terreno

Las pendientes de los terrenos en el área evaluada, varía desde moderado a fuertemente inclinado, en terrazas (10° - 25°), las laderas presentan pendientes fuertes a muy fuerte (25°-45°), y en la parte alta de los cerros y en las márgenes de los ríos se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°), (figuras 5). Se elaboró un mapa de pendientes en base al modelo de elevación digital (DEM), de 20 cm, a partir fotogrametría con dron (Anexo 1, mapa 4).

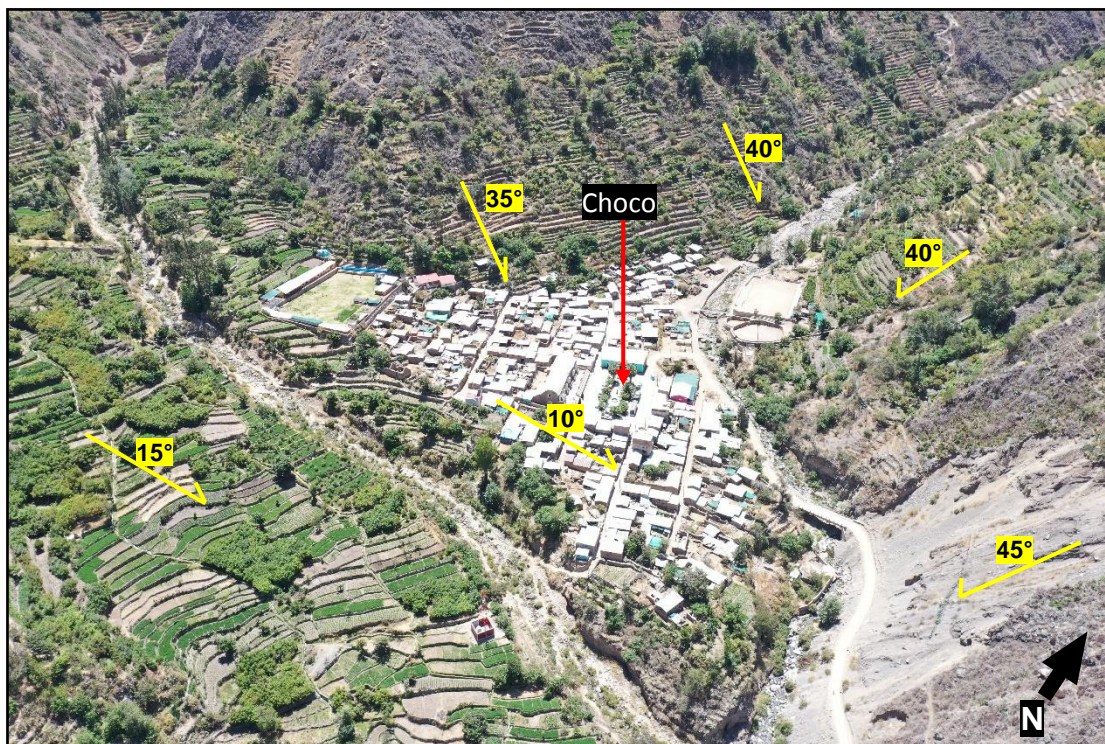


Figura 5. El texto de color amarillo muestra las distintas pendientes en la zona urbana de Choco.

Tabla 3. Clasificación de pendientes del terreno.

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

4.2. Unidades Geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector, se ha empleado la propuesta 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:

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

La evolución del relieve en el área evaluada se presenta en el (Anexo 1, mapa 2).

En el área de estudio se han formado geformas, los cuales son: Montaña en roca metamórfica (RM-rm), montaña en roca sedimentaria (RM-rs), y vertiente o piedemonte aluvial (V-al), (figura 6).

4.2.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos

por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes, Villota, (2005). Así en el área evaluada se tienen las siguientes unidades y subunidades:

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).

Relieve montañoso en roca sedimentaria (RM-rs): Esta subunidad geomorfológica presenta cerros con laderas con pendientes que varían de fuertes hasta abruptas (25° - 50°), formadas por los anticlinales y sinclinales, se encuentran erosionadas. Litológicamente está compuesta por secuencias sedimentarias de limoarcillitas, areniscas, arcillitas carbonosas y secuencias calcáreas, se caracteriza por presentar caídas de rocas, derrumbes y avalanchas de rocas. También se originan flujos de detritos o huaicos en áreas con procesos de erosión de laderas.

Relieve montañoso en roca metamórfica (RM-rm): Presenta laderas erosionadas con pendientes que varían desde fuertes hasta abruptas (25° - 50°). Litológicamente está compuesta por secuencias metamórficas. Se caracteriza por presentar caídas de rocas, derrumbes y avalanchas de rocas. También se originan flujos de detritos o huaicos en áreas con procesos de erosión de laderas.

4.2.2. Geformas de carácter depositacional o agradacional

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

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 coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales. Las unidades de piedemonte identificadas son las siguientes:

Vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Planicie inclinada extendida al pie de estribaciones andinas o los sistemas montañosos. Está formado por la acumulación de corrientes de agua. Se ubica en las partes bajas del área agrícola, en inmediaciones de los ríos Quinchichi y Chula.

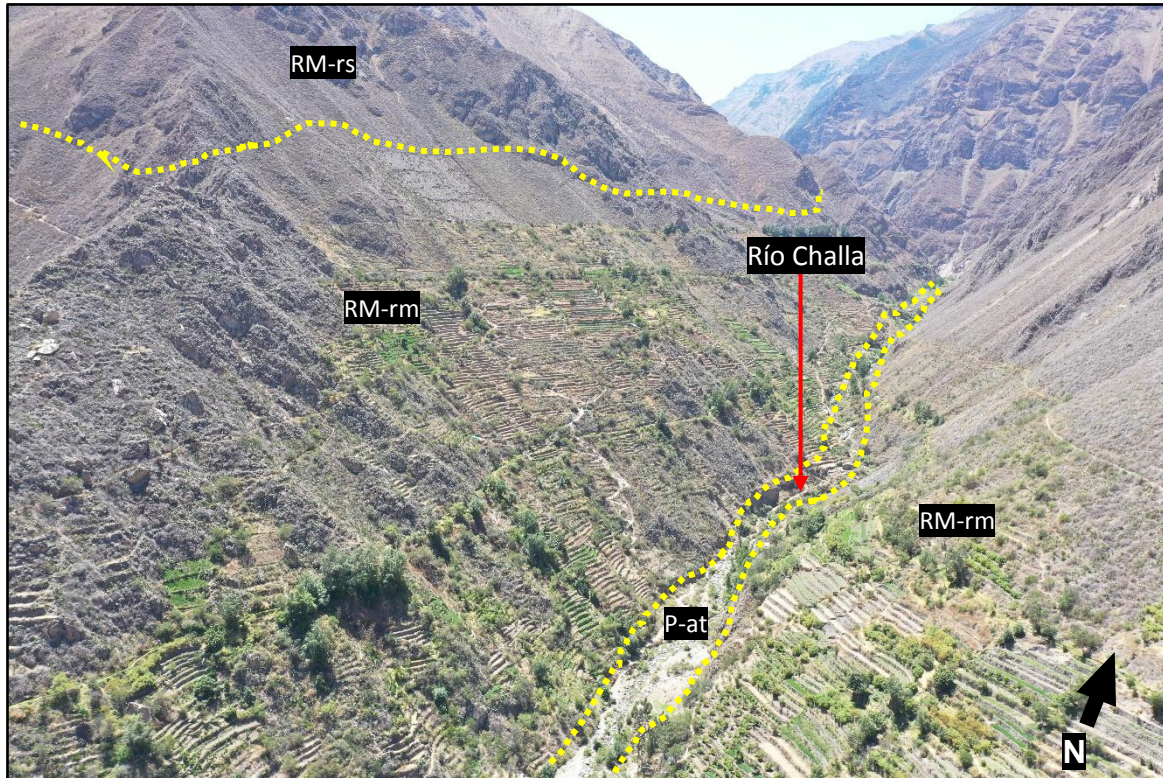


Figura 6. Se aprecia las siguientes unidades

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos son resultados del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los valles de la Cordillera de los Andes por los ríos, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

6.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

6.1.1. Flujo de detritos (huaico) en Choco - 2024.

El 22 de enero del 2024 a las 17:00 horas, a raíz de lluvias intensas en la parte alta de las microcuencas de los ríos Quichichi y Challa, se generó un huaico que descendió principalmente por el cauce del río Challa (figura 7).

Este flujo se generó tras la saturación de los terrenos sueltos ubicados en las laderas de los cerros, a consecuencia de precipitaciones intensas, al momento de la redacción del informe, aun no se tiene el dato de la precipitación ocurrido el pasado 22 de enero.

El flujo de detritos (huaico) al descender destruyó todo lo que encontró a su paso, según REPORTE COMPLEMENTARIO N° 894 - 26/1/2024 / COEN-INDECI / 01:10 HORAS (Reporte N° 4). Se detalla los daños ocasionados por el evento (figura 8). Sin embargo, según las primeras fotografías facilitadas por personal de la municipalidad distrital y de los distintos diarios locales, se puede evidenciar que también fueron totalmente destruidos, el estadio, la plaza de toros de Choco y el Petar, los cuales estuvieron ubicados en la margen izquierda del río Challa, (figuras 9, 10, 11 y 12)



Figura 7. Depósito de hualca del 22 de enero 2024. Fotografía: Diario Perú 21

UBICACIÓN	VIDA Y SALUD (PERSONA)	DAÑOS MATERIALES				
		VIVIENDA	INFRAESTRUCTURA DE EDUCACIÓN	INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE	SERVICIOS BÁSICOS	
	DAMNIFICADA	VIVIENDA INHABITABLE	INSTITUCIÓN EDUCATIVA AFECTADA	CARRETERA AFECTADA (m)	PUENTE DESTRUIDO	RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA SIN SERVICIO (%)
DPTO. AREQUIPA						
PROV. CASTILLA						
DIST. CHOCO	40	20	1	200	1	10

Figura 8. Reporte de daños N° 894 - 26/1/2024 / COEN-INDECI

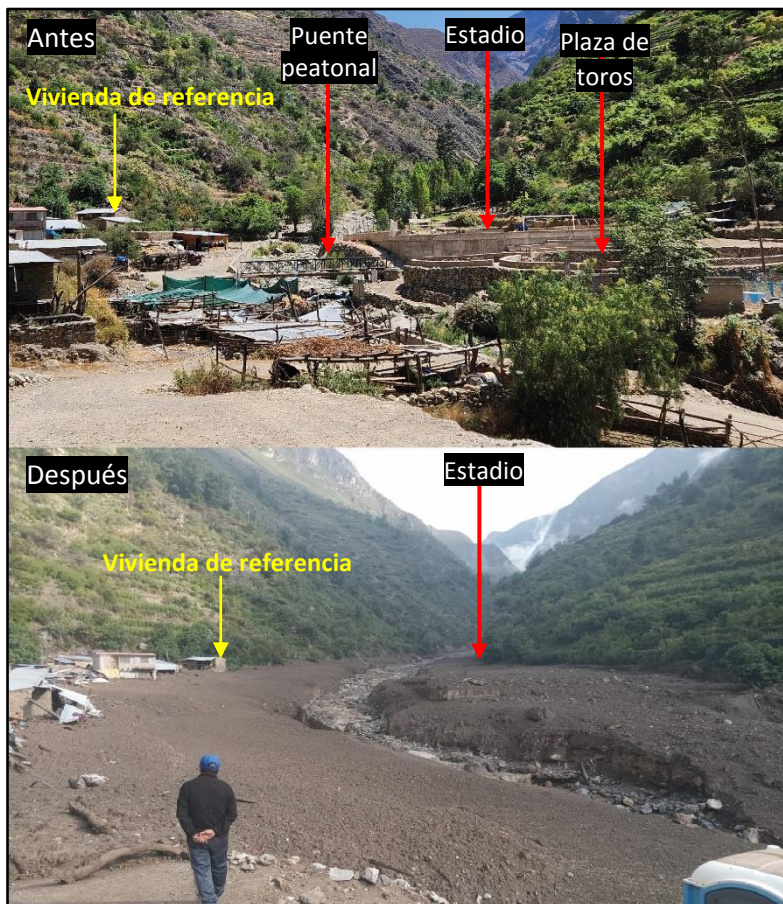


Figura 9. Antes y después del descenso del hualca. Fotografía: Municipalidad de Choco.



Figura 10. Infraestructura destruida por el huaico del 22 de enero. Se muestra la antigua ubicación de viviendas, estadio, puente peatonal y puente carrozable. Fotografías: Municipalidad de Choco



Figura 11. Puente carrozable destruido, principal infraestructura de comunicación del distrito de Choco. Fotografías: Municipalidad de Choco



Figura 12. Puente carrozable antes del huaico del 22 de enero.

El flujo de detritos (huaico) en su descenso también afecto a la localidad de Miña, ubicada a 8.6 k aguas arriba, se ubica en el fondo de la quebrada, disectada por el cauce del río Challa. El evento del 22 de enero, arrastro todo lo que encontró en su cauce, afectando viviendas ubicadas próximo a este. además, la vía de acceso fue afectada en varios tramos, (figura 13).



Figura 13. Afectación en la localidad de Miña. Fotografías: Municipalidad de Choco

Volumen del flujo del 22 de enero en Choco

Para determinar el volumen del flujo empleamos la información existente de precipitación, del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi). De la estación de Choco, donde se cuenta con equipo convencional. De los valores de precipitación que se muestran en la (figuras 3 y 14). Se puede interpretar a partir de datos de una ventana de tiempo desde

1964 hasta el 2014, así como de los últimos meses. Por lo tanto, se extrae que la mayor precipitación en la zona fue de 40 mm. (figura 3)

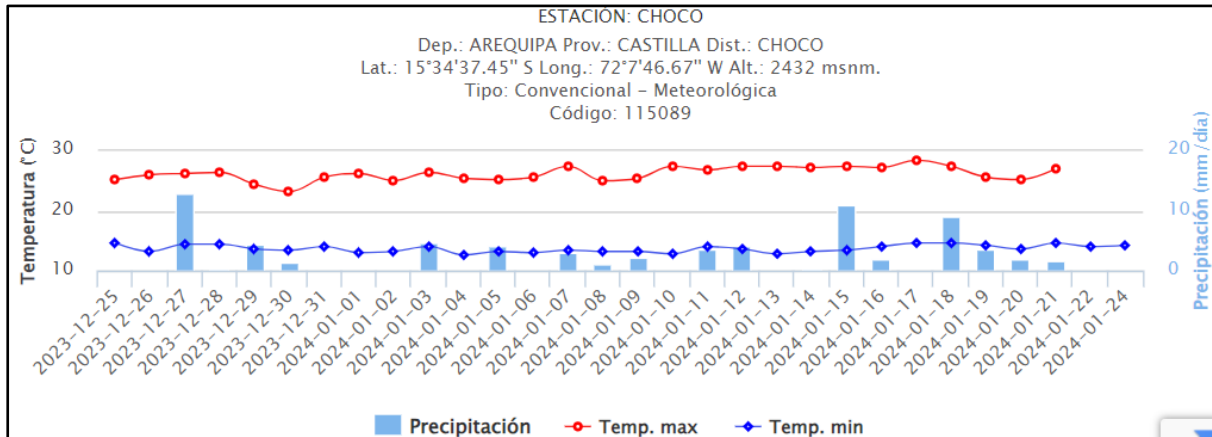


Figura 14. Precipitación diaria según la estación Choco (Senamhi). Para los últimos meses. (diciembre del 2023 y enero del 2024).

Requerimos también determinar el área de la zona de generación del flujo, el cual se extrae a partir de la interpolación de los límites de las vertientes de la microcuenca, además de definir la zona de generación en base a la teoría de (Bateman et al. 2006). (figura 16).

Esta metodología indica, que el volumen de agua involucrado depende directamente de la precipitación neta (pn), expresado en (m) y el área de la zona de generación de flujo, representado como $A(m^2)$. Soncco et al., (2022), (figura 15).

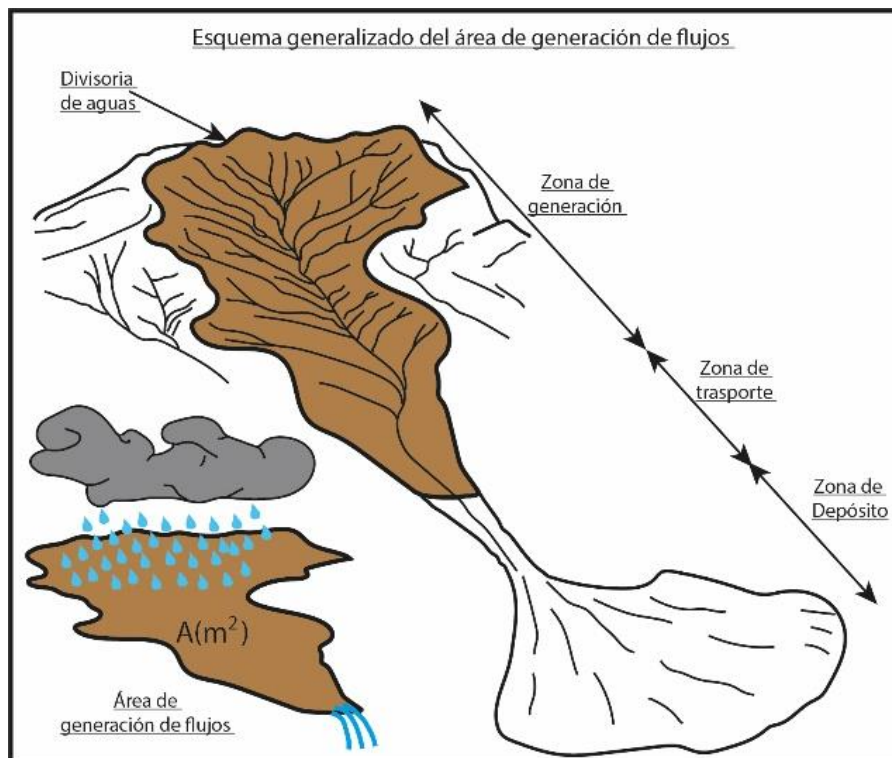


Figura 15. Esquema generalizado del área de generación de un flujo de detritos y/o lahares secundarios. Soncco et al., (2022).

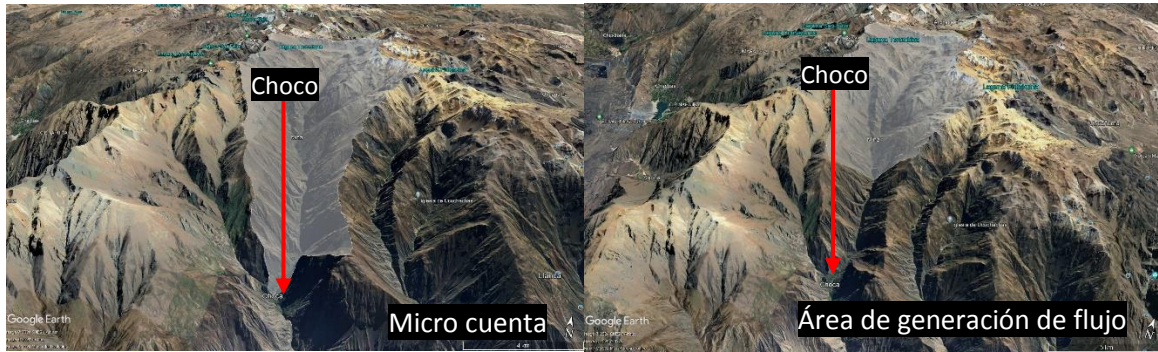


Figura 16. Delimitación del área de generación del huaico, en la microcuenca del río Challa.

La ecuación para el cálculo del volumen de flujo es el siguiente.

$$V_{\text{flujo}} = P_n * A * (X\%)^{-1}$$

Donde:

- P_n (m), precipitación neta
- A (m²), área de zona de generación de flujos
- X, porcentaje de agua asumido por el investigador.

Se calculó un volumen de flujo de detritos (huaico) de **dos millones quinientos mil metros cúbicos**, que descendieron por el cauce del río Challa.

Precipitación	40 mm
Choco, cuenca del río Challa	2500000 m ³
Área – 2286770 m ²	
Volumen calculado m ³	

Simulación del huaico del 22 de enero del 2024

La simulación de flujo de detritos (huaico), se realizó empleando el código VolcFlow (Kelfoun & Druit, 2005), el cual es un modelo que fue desarrollado para la simulación de flujos volcánicos en el Laboratorio de magmas y volcanes, de la universidad Blaise Pascal, en ClermontFerrand (Francia), por el Dr. Karim Kelfoun y colaboradores, para delimitar objetivamente las zonas de amenaza de lahares/huaicos

A continuación, se muestran el resultado de la simulación de flujos de detritos del 22 de enero, (figura 17).

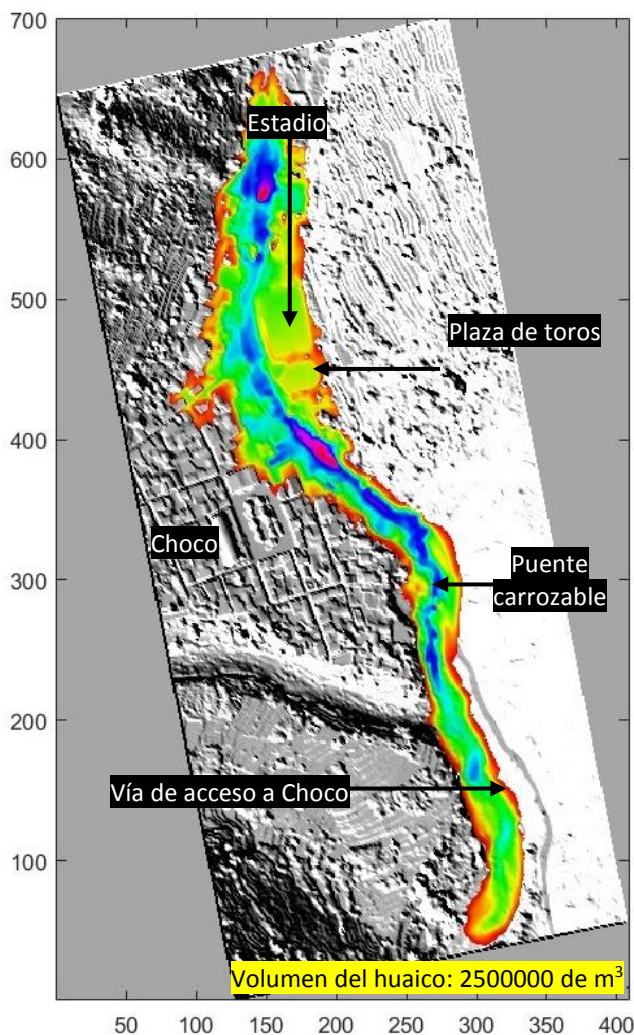


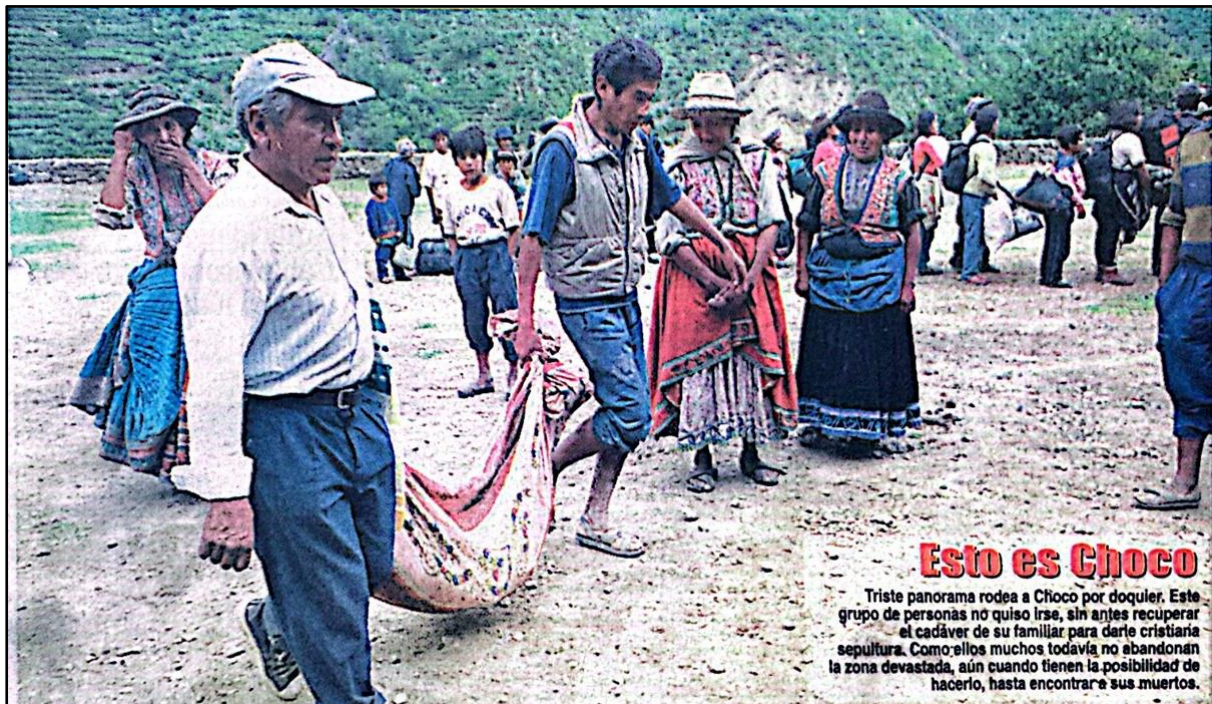
Figura 17. Simulación del huaico del 22 de enero del presente.

6.1.1. Flujo de detritos (huaico) en Choco - 1998.

La noche del 20 de enero de 1998, a raíz de lluvias intensas en la parte alta de las dos microcuencas en la zona, las cuales confluyen en inmediaciones de la zona urbana de Choco, se generaron huaicos, estas descendieron por los cauces de los ríos Quichichi y Challa. Este evento lamentablemente generó pérdidas humanas e infraestructura.

Según los reportes de los diarios de días posteriores al evento, en Choco, fallecieron treinta y seis personas, se contabilizaron diez viviendas totalmente destruidas, doce tomas de agua, siete puentes que comunicaban a los anexos de Mina y Ucuchachas, caminos de herradura, quince hectáreas de terreno de cultivo y criaderos de truchas (figura 18)

Según testimonio de los pobladores de Choco, el huaico de mayor volumen y de mayor poder destructivo descendió por el río Challa (figura 19).



Esto es Choco

Triste panorama rodea a Choco por doquier. Este grupo de personas no quiso irse, sin antes recuperar el cadáver de su familiar para darle cristiana sepultura. Como ellos muchos todavía no abandonan la zona devastada, aún cuando tienen la posibilidad de hacerlo, hasta encontrar a sus muertos.

Figura 18. Panorama en Choco, días posteriores al desastre. Fuente: Diario la Republica, sábado 31 de enero de 1998.



El pueblo de Choco fue arrasado violentamente por el río Challa, sepultando a 32 personas y dejando más de 40 familias damnificadas. En la vista se observa el río Quisisho que surca este húmedo distrito de Castilla.

Reducido a escombros quedó el local municipal de Choco, donde pereció instantáneamente el juez de paz, Eradio Barrionuevo Carpio y el Teniente Alcalde Adrian Lupaca Banda.

Una comitiva integrada por el Jefe Regional de Defensa Civil, Coronel EP Salomón Berrios Liendo, el Presidente del Gobierno Regional, Ing. Luis Chávez Bedoya Vargas, el Congresista de Cambio 90 Nueva Mayoría Gilberto Siura Céspedes, verificaron la entrega de frazadas, plásticos, baldes y alimentos a los damnificados de

Aunque la ayuda material que llevaron las autoridades de Defensa Civil a los humildes pobladores víctimas del alud que afectó a Choco, no podrá consolarlos por las pérdidas de sus seres queridos, al menos servirá para enfrentar las peores condiciones climáticas que soporta la zona.

Figura 19. Huaico en el distrito de Choco. Fuente: Diario el Pueblo, sábado 31 de enero de 1998.

Durante la visita de campo se logró encontrar depósitos adosados, los cuales corresponden al huaico del evento ocurrido en 1998. Conformado por bloques (50 %), gravas (30 %) y matriz

areno limo-arcillosa (20%). Los bloques de mayor tamaño poseen hasta 10 m de diámetro, el depósito está ligeramente compactado y presenta una superficie rugosa. Los bloques poseen litología heterogénea, son fragmentos metamórficos y sedimentarios, (figuras 20 y 21).



Figura 20. Bloques arrastrados por el flujo de 1998.



Figura 21. Área afectada por el flujo de 1998, con base a imágenes satelitales y fotografías en diarios locales de 1998.

6.1.2. Avalancha de detritos y caída de rocas

Avalancha de detritos. Se presentan desde las partes altas, actualmente conservados en las laderas. Se identificaron depósitos muy potentes, poseen espesores de hasta 20 m. conformados por bloques (50 %), gravas (45 %) y escasa matriz (5 %), se presenta poco consolidado. En algunos casos vienen siendo afectados por procesos de erosión de ladera (cárcavas), los cuales erosionan y trasladan material al cauce de las quebradas, la cual es incorporado en los flujos de detritos (huaicos), (figuras 22 y 23).

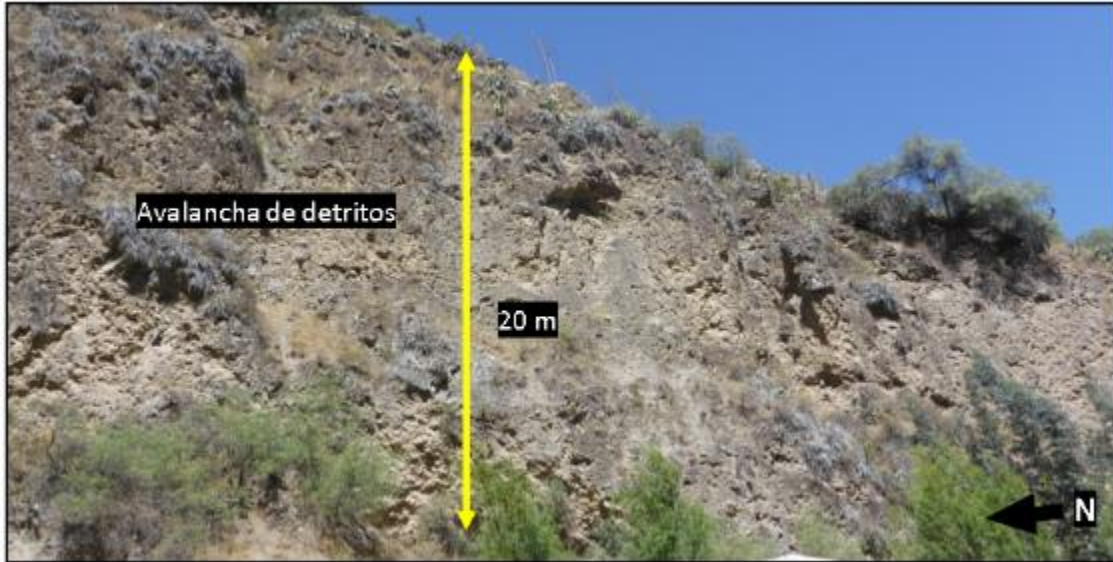


Figura 22. Depósito de avalancha de detritos, en la margen izquierda del río Challa.



Figura 23. Depósito de flujos de detritos en la margen izquierda del río Cusca.

Los depósitos de avalancha de detritos presentan formas alargadas, en la parte baja exponen una geometría de abanico, conformado por cantos y gravas de composición heterogénea, además de arenas y en menor cantidad limos. El depósito es poco consolidado. La zona de arranque de estos fragmentos no está bien definida, en algunos sectores aparentemente arrancaron como derrumbe, comportándose posteriormente como avalancha. Este tipo de proceso afecta hasta en 5 sectores en la carretera de acceso a Choco.

Caída de rocas. Se presenta en laderas con pendientes fuertes a escarpadas, son bloques de roca que caen desde las partes altas, afectando principalmente el trazo de la carretera de acceso al distrito de Choco, en base a las imágenes satelitales, se aprecia hasta 6 sectores afectados por este tipo de evento, (figuras 24 y 25)



Figura 24. Zona de caída de rocas, carretera de acceso a Choco.



Figura 25. Zona de caída de rocas, carretera de acceso a Choco, margen derecha del río Colca.

6.2. Factores condicionantes

- Presencia de rocas metamórficas pertenecientes al Complejo Basal de la Costa, con rocas que se encuentran entre moderado y altamente meteorizadas y muy fracturadas; rocas sedimentarias de la Formación Socosani, las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas. esto genera material suelto que es de fácil remoción
- Las laderas presentan pendientes que varían de moderado a fuertemente inclinado, en los terrenos de cultivo (10° - 25°), en la parte baja y media es muy fuerte (25°-45°), en las márgenes de los ríos se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°). Esto permite que el material suelto que se encuentra en la ladera, se desplace cuesta abajo con facilidad
- Presenta unidades geomorfológicas de montaña en roca metamórfica, montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvial. Desde las dos primeras se desprenden bloques que se acumulan en las vertientes.

6.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas, prolongadas o extraordinarias (según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, el período de lluvia en la sierra de Perú se da entre los meses de diciembre a abril), las aguas saturan los terrenos, aumentando el peso del material y las fuerzas tendentes al deslizamiento y los flujos de detritos (lahares) también son generados por lluvias intensas. Según la estación Choco del (Senamhi), en la zona, históricamente se presentaron precipitaciones de hasta 40 mm.
- La saturación del material inestable que se encuentra sobre las laderas tiene un aumento de peso de la masa inestable, esto va a ocasionar una pérdida de cohesión del terreno, lo que la masa inestable se desplace cuesta abajo, y generar movimientos en masa mencionados.

CONCLUSIONES

- a) En el área afloran las siguientes unidades, a) Complejo Basal de la Costa, compuesto por gneises, de composiciones graníticas, granodioríticas y tonalíticas blancas, rosadas, y blanco verdosas. Las rocas se encuentran entre moderado y altamente meteorizadas y muy fracturadas, b) Formación Socosani, compuesta litológicamente por limoarcillitas intercaladas con delgados estratos de areniscas y con presencia de abundante nódulo calcáreo fosilífero. Presenta un grosor de 500 m aproximadamente. Las rocas se encuentran moderadamente meteorizadas y medianamente fracturadas; c) Depósitos cuaternarios, aluvial, coluvio-aluviales y proluviales, los cuales son poco consolidado.
- b) En el área de estudio afloran las siguientes unidades geomorfológicas, montaña y piedemonte, con las siguientes subunidades, montaña en roca metamórfica, montaña en roca sedimentaria, vertiente o piedemonte aluvial y cauce de quebrada estacional. Además, las pendientes de los terrenos varían desde moderado a fuertemente inclinado, en terrazas (10° - 25°), fuertes a muy fuerte (25°-45°), y en la parte alta de los cerros y en las márgenes de los ríos se tiene un cambio abrupto a terrenos escarpados (> 45°).
- c) Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados son: Flujo de detritos (huaico) y en menor proporción avalancha de detritos.
- d) Los factores condicionantes que originan la ocurrencia de peligros geológicos son: a) Presencia de rocas metamórficas (Complejo Basal de la Costa) y secuencias limoarcillitas intercaladas con areniscas, las cuales se encuentran entre moderado y altamente meteorizadas y muy fracturadas y depósitos aluviales, coluvio-aluviales y proluviales, los cuales son poco consolidado, b) pendientes que varían desde moderado a fuertemente inclinado en los terrenos de cultivo (10°-25°), en la parte baja y media es muy fuerte (25°-45°). y en los cerros y en las márgenes de los ríos se tiene un cambio abrupto de terrenos escarpados (>45°), c) Presencia de unidades geomorfológicas de montaña en roca metamórfica, montaña en roca sedimentaria y vertiente o piedemonte aluvial. Desde las dos primeras se desprenden bloques que se acumulan en las vertientes.
- e) El cauce de la quebrada Challa se angosta al entrar a la zona urbana, este fue aprovechado para la ocupación de viviendas, así como para construcción de un estadio, plaza de toros, Petar, entre otros.
- f) El 22 de enero del 2024 se generó un huaico, que al descender por su cauce afectó a la zona urbana de Choco. El factor detonante fue la lluvia excepcional que cayó en la microcuenca de la quebrada. En días anteriores se presentaron lluvias prolongadas que humedecieron y saturaron las laderas.
- g) El huaico del 22 de enero del 2024 alcanzó un volumen de 2.5 millones de metros cúbicos, este al descender por el cauce del río Challa, arrasó todo lo que encontró a su paso. Según reporte N° 894 - 26/1/2024 / COEN-INDECI, se contabilizaron 40 damnificados, 20 viviendas destruidas, 200 metros de carretera afectadas por el huaico, 01 puente carrozable destruido, 10 % de la población quedó sin red de energía eléctrica, afectación a una institución educativa. Adicionalmente se identificó las siguientes estructuras destruidas: Estadio de Choco, la plaza de toros de Choco, 01 Petar, 01 puente peatonal y 01 piscigranja.

- h) Con base a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se concluye que la zona urbana del distrito de Choco es considerada de **PELIGRO MUY ALTO a ALTO y ZONA CRITICA**, frente a movimientos en masa, el sector puede ser afectado por huaicos (flujo de detritos) y avalancha de detritos.

RECOMENDACIONES

1. Implementar un sistema de alerta temprana (SAT), frente a la ocurrencia de nuevos flujos de detritos (huaico). Este debería de implementarse en los ríos Challa y Quichichi.
2. Colocar disipadores de energía en el cauce de la quebrada Challa, empleando diques transversales (enrocado) o mallas dinámicas, canalización del cauce con muros escalonados, estos trabajos tienen que ser realizados con estudios y profesionales especializados en el tema. Para realizar estos trabajos es necesario calcular volúmenes y caudales máximos/extremos que se puedan generar. Además, mantener el ancho de quebrada, por ningún motivo este debe ser reducido. Esta medida correctiva es con la finalidad de mitigar los efectos de los flujos de detritos
3. Sensibilizar a la población a través de talleres y charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar construcción de viviendas o infraestructura en área susceptibles a la ocurrencia de huaicos.
4. Realizar un estudio de evaluación de peligros EVAR, este debe ser realizado por un evaluador de riesgos acreditado por CENEPRED.
5. Finalmente, las autoridades competentes deben implementar ordenanzas, para prohibir:
 - La construcción de viviendas en zonas de alto peligro por movimientos en masa.
 - La ocupación en las fajas marginales o el límite natural de un río o quebrada.
 - Por ningún motivo debe continuar la expansión urbana hacia los cauces de las quebradas y ríos.
 - Evitar el crecimiento poblacional hacia las laderas de los cerros con presencia de movimientos en masa. En la actualidad la tendencia de expansión urbana está orientada hacia estas zonas. Es importante mencionar, que el sur del país es una zona de alta sismicidad; en este sentido las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros pueden estar expuestas a desprendimientos de rocas y derrumbes.
6. Implementar medidas de protección y señalización por caída de rocas y avalanchas de detritos en la vía de acceso al distrito de Choco.
7. Realizar la reubicación de la población en forma paulatina, porque se encuentra asentada sobre el abanico de la quebrada. Buscar lugares nuevos para la expansión urbana. Mientras dura el proceso de reubicación, es necesario implementar las medidas correctivas para mitigar los efectos de los posibles flujos que se puedan presentar.


.....
Ing. SEGUNDO NÚÑEZ JUÁREZ
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.

Romero. D.; & Ticona. P.; (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Huambo (32-r).

INDECI, (1998) Descripción de las principales emergencias producidas a nivel nacional durante el año 1998.

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

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

Evans, S. G., y Hungr, O., (1993). The analysis of rock fall hazard at the base of talus slope: Canadian Geotechnical Journal, v. 30p.

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

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Departamento 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 analisys and control: Washintong D. C, National Academy Press, Transportación 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

Se presenta los siguientes mapas:

Mapa N°1. Geología del área de trabajo. Tomado y modificado del mapa geológico del cuadrángulo de Huambo 32-r. Darwin Romero Fernández y Pedro Ticona Turpo (2003).

Mapa N°2. Pendientes del terreno, elaborado a partir de un modelo digital de elevaciones (DEM) de 12.5 m de resolución. Elaboración propia.

Mapa N°3. Geomorfología de la zona urbana del distrito de Choco. Tomado del mapa geomorfológico a escala 1:200,000 del Ingemmet.

Mapa N°4. Cartografía de peligros geológicos en la zona urbana del distrito de Choco. Elaboración propia.

164300

164450

164600

8275700

8275550

8275400

8275250

8275100

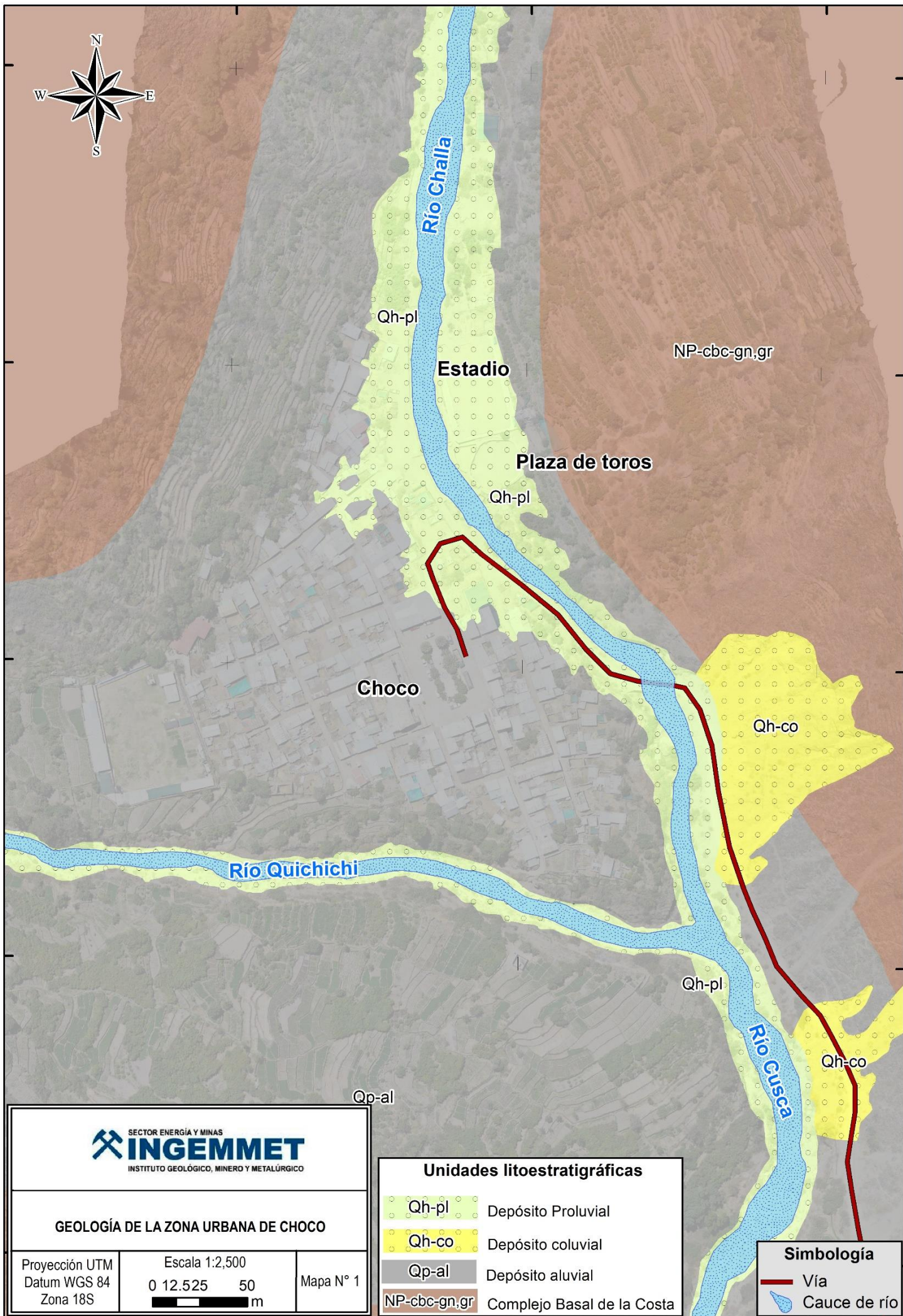
8275700

8275550

8275400

8275250

8275100



GEOLOGÍA DE LA ZONA URBANA DE CHOCO

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S



Escala 1:2,500
0 12.525 50
m

Mapa N° 1

Unidades litoestratigráficas

-  Qh-pl Depósito Proluvial
-  Qh-co Depósito coluvial
-  Qp-al Depósito aluvial
-  NP-cbc-gn.gr Complejo Basal de la Costa

Simbología

-  Vía
-  Cauce de río

164300

164450

164600

8275700

8275700

8275550

8275550

8275400

8275400

8275250

8275250

8275100

8275100



RM-rm

C-q

Río Challa

Estadio

RM-rm

Plaza de toros

C-q

V-al

Choco

V-al

Río Quichichi

C-q

Río Cusca

V-al



GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA URBANA DE CHOCO

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S

Escala 1:2,500
0 12.525 50
m

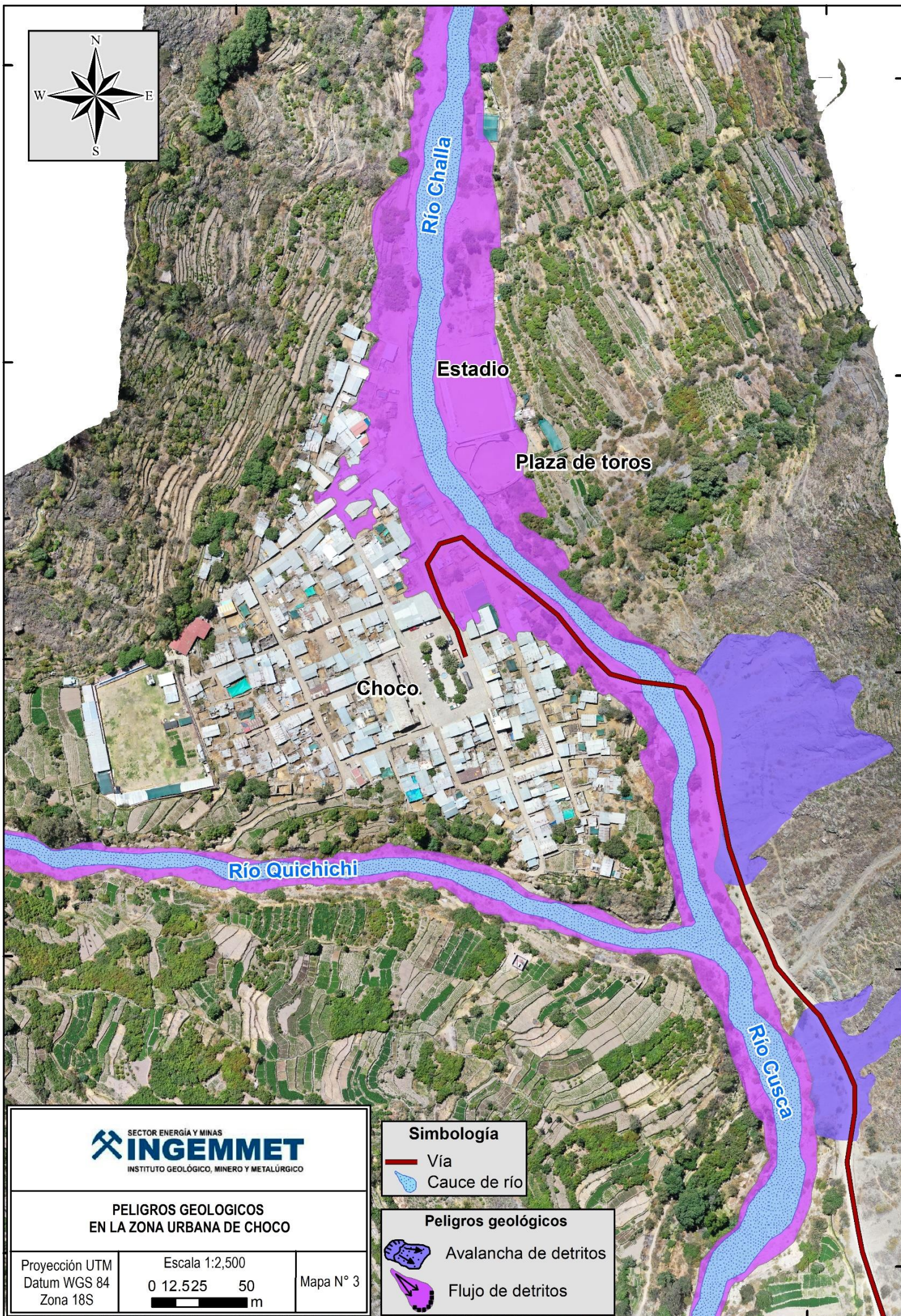
Mapa N° 2

Unidades litoestratigráficas

- C-q Cauce de quebrada estacional
- V-al Vertiente o piedemonte aluvial
- RM-rm Montaña en roca metamórfica

Simbología

- Vía
- Cauce de río



SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

**PELIGROS GEOLOGICOS
 EN LA ZONA URBANA DE CHOCO**

Proyección UTM
 Datum WGS 84
 Zona 18S



Escala 1:2,500
 0 12.525 50
 m

Mapa N° 3

Simbología

-  Vía
-  Cauce de río

Peligros geológicos

-  Avalancha de detritos
-  Flujo de detritos

164300

164450

164600

8275700

8275700

8275550

8275550

8275400

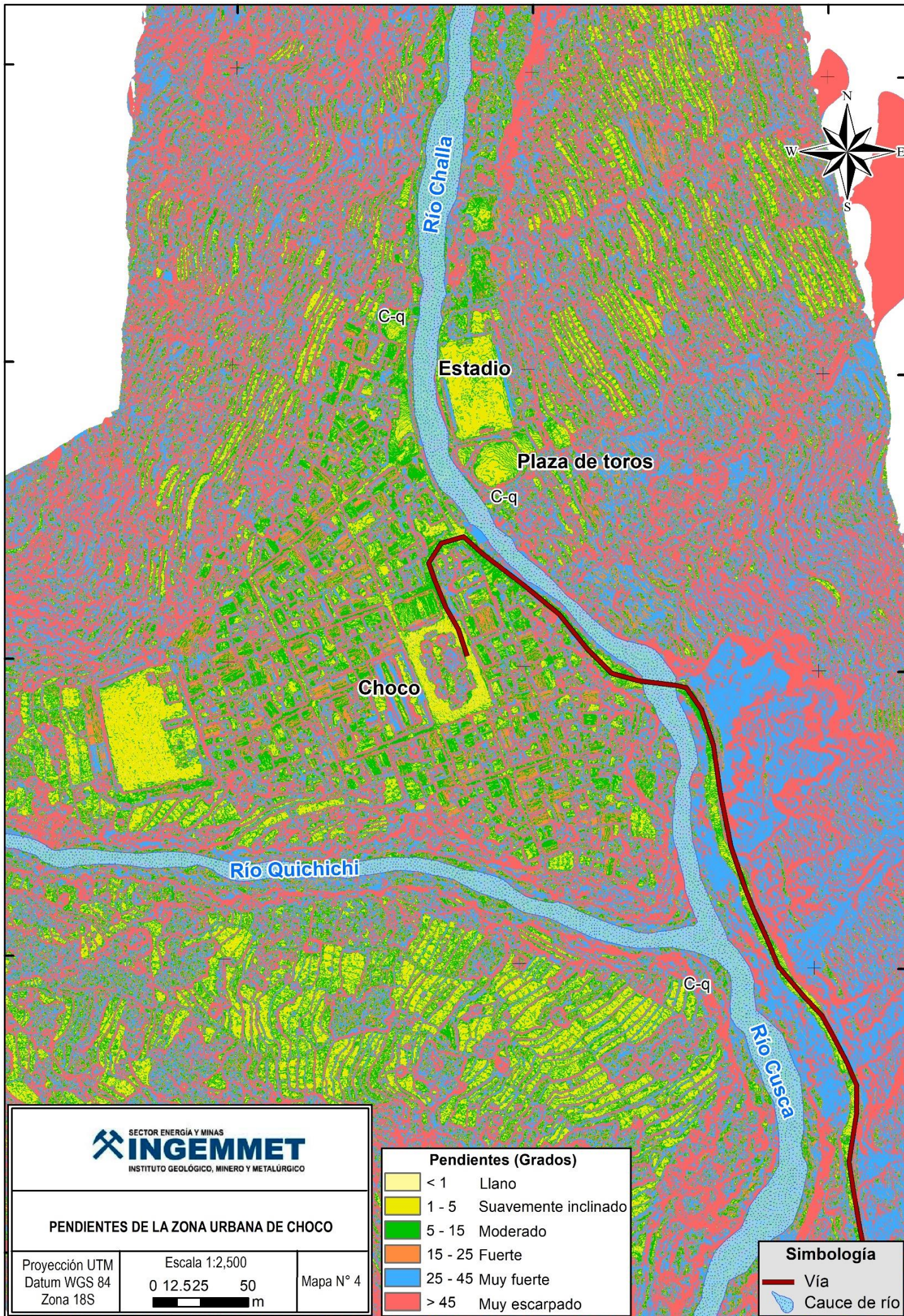
8275400

8275250

8275250

8275100

8275100



PENDIENTES DE LA ZONA URBANA DE CHOCO

Proyección UTM
Datum WGS 84
Zona 18S

Escala 1:2,500
0 12.525 50
m

Mapa N° 4

Pendientes (Grados)	
	< 1 Llano
	1 - 5 Suavemente inclinado
	5 - 15 Moderado
	15 - 25 Fuerte
	25 - 45 Muy fuerte
	> 45 Muy escarpado

Simbología	
	Vía
	Cauce de río

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 flujo de detritos (huaico)

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 26)

Construir presas transversales de sedimentación escalonada para controlar las fuerzas de arrastre de las corrientes de cursos de quebradas que acarrean 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 27).



Figura 26. Presas transversales a cursos de quebradas y crecimiento de bosques Ribereños, (Vilches, 2021)



Figura 27. Presas tipo SABO de sedimentación escalonada para controlar la fuerza destructiva de los huacos, a) de control; b) tipo rejilla; c) barras flexibles, (Vilches, 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 huacos, 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 28 y 29).

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



Figura 29. Estación de monitoreo de flujo de detritos (fotografía tomada de Soil and Water Conservation Bureau SWCB-Taiwan, por Vílchez, 2010).

Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes

La caída de rocas y derrumbes son comunes en zona con pendientes escarpadas de rocas y acantilados. Estos peligros son la causa de cuantiosas pérdidas humanas y económicas, estas últimas principalmente al obstaculizar el transporte y el comercio debido al bloqueo de las carreteras. A veces, se desvían los caminos y carreteras alrededor de las zonas de caída de rocas, pero esto no siempre es práctico. Muchas comunidades colocan avisos de peligro alrededor de zonas donde hay un elevado peligro de caída de rocas.

La aplicación de medidas correctivas en zonas con caídas se puede realizar sobre taludes de pendientes fuertes y cuya estabilización es necesaria. Para tener un factor de seguridad predeterminado y estabilizar fenómenos de rotura, los métodos más frecuentes se muestran en la (figura 30).

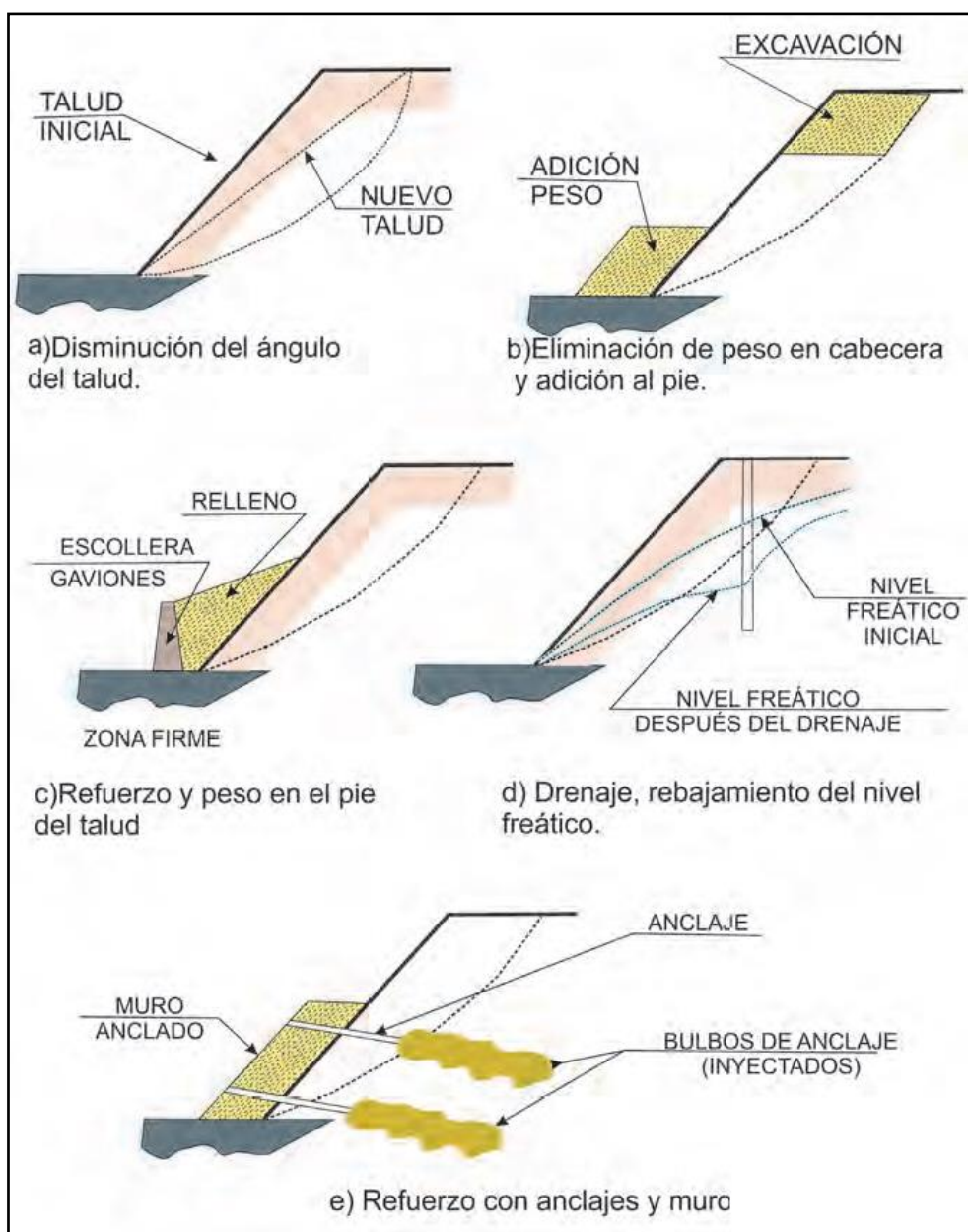


Figura 30. Mitigación de peligros por caídas de rocas y derrumbes, (Vilches, 2021)

Corrección por modificación de la geometría del talud: Consiste en estabilizar el ángulo del talud ya sea por corte del talud, escalonamiento de taludes en bancos (figura 31), etc. Mediante este tipo de corrección, se distribuyen las fuerzas debidas al peso de materiales, y se obtiene una nueva configuración más estable.

Corrección por drenaje: Las medidas de corrección por drenaje son de dos tipos: 1) drenaje superficial mediante zanjas de drenaje, impermeabilizadas o no y aproximadamente paralelas al talud con el fin de recoger las aguas superficiales o aquellas recogidas por los drenajes profundos y evacuarlas lejos del talud para evitar su infiltración; y 2) drenaje profundo que tiene como finalidad deprimir el nivel freático del afloramiento, ya sea por medio de drenes horizontales, galería de drenaje, zanjas, pozos o drenes verticales, entre otros, como se muestran en la (figura 32). En ambos casos, es necesaria la participación de un hidrogeólogo para el diseño de los drenes.

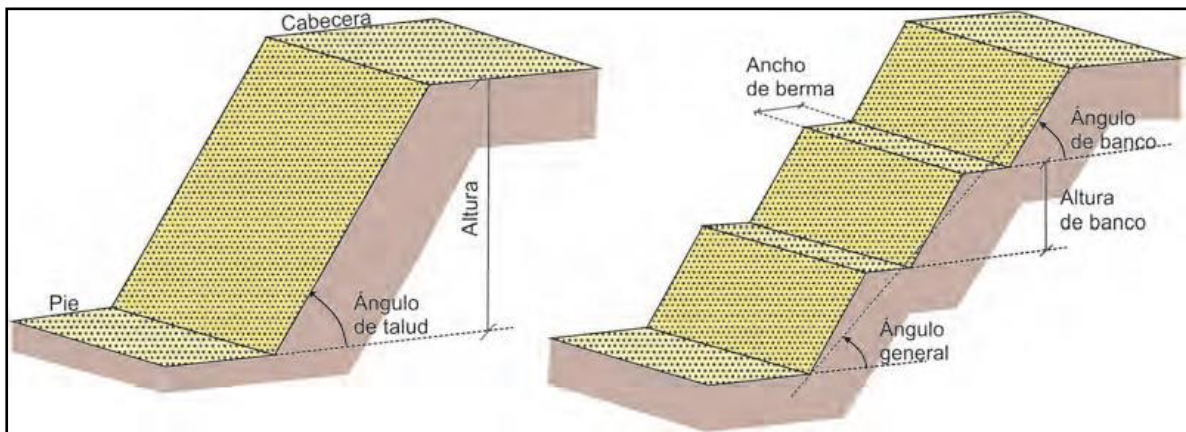


Figura 31. Talud con ángulo uniforme y talud con excavado de forma escalonada con bermas y bancos (González & et al, 2002).

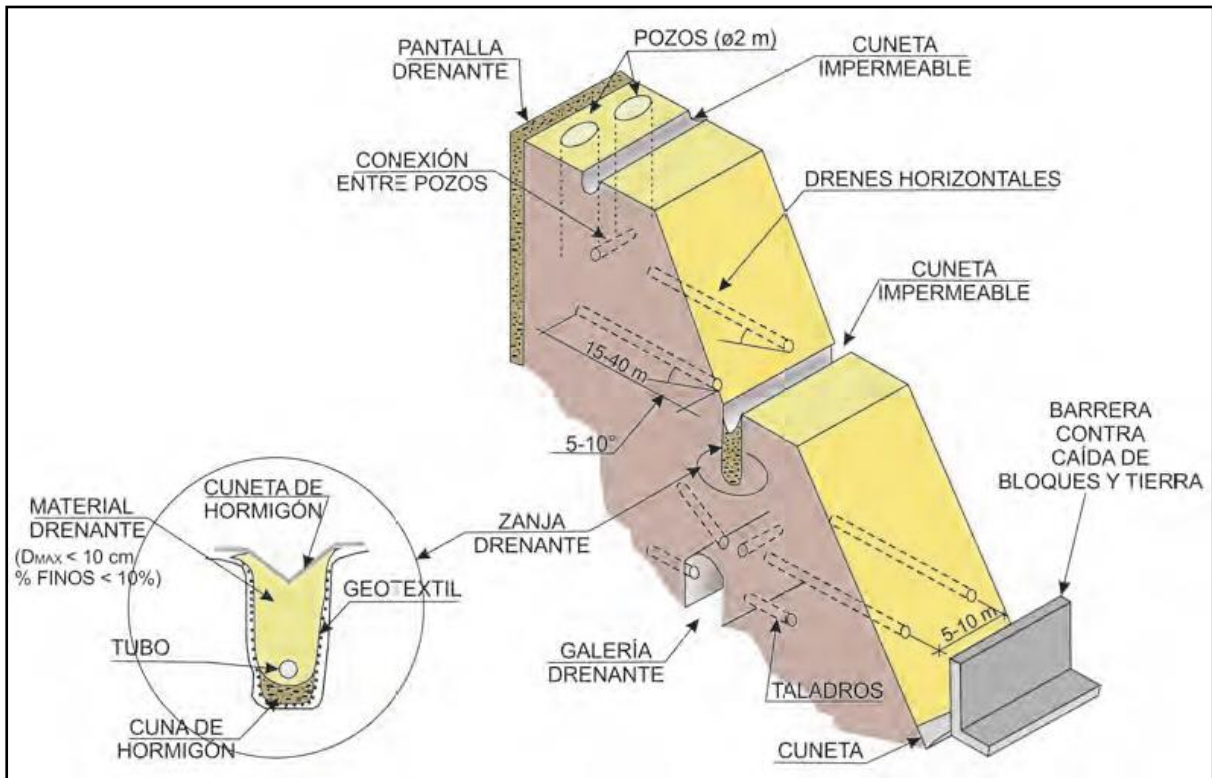


Figura 32. Medidas de drenaje y protección de taludes, (Vilches, 2021)

Corrección por elementos resistentes: Tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuentes como anclajes formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo, que trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura (figura 33). Otro sistema es el uso de muros, que se construyen al pie del talud como elementos resistentes de sostenimiento, contención o revestimiento (figura 34). Estos muros pueden ser de: 1) gravedad, que se construyen de hormigón en masa, concreto ciclópeo, mampostería, piedra seca o piedra argamasada para taludes pequeños (figura 35); 2) aligerados, ejecutados con hormigón armado en forma de L. Aquí la pantalla vertical actúa como viga en voladizo y contrarrestan el momento volcador del empuje del terreno principalmente con el momento estabilizador de las tierras situadas sobre el talón; y muros contrafuertes (figura 36).

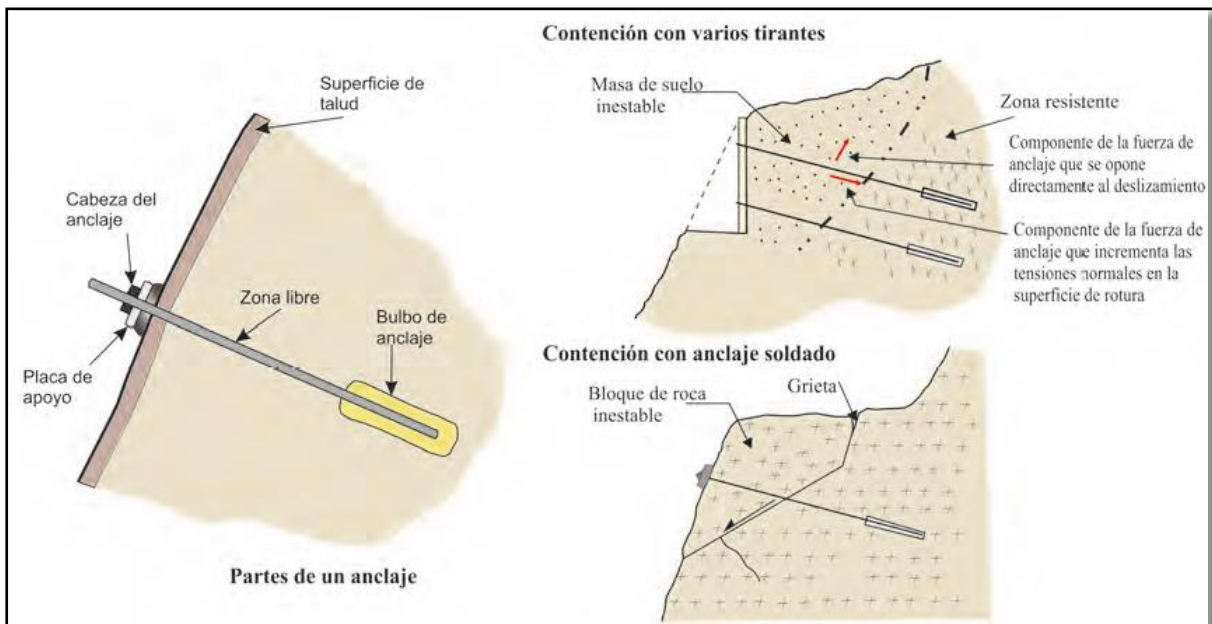


Figura 33. Esquema de las partes de un anclaje y ejemplos de aplicación, (Vilches, 2021)

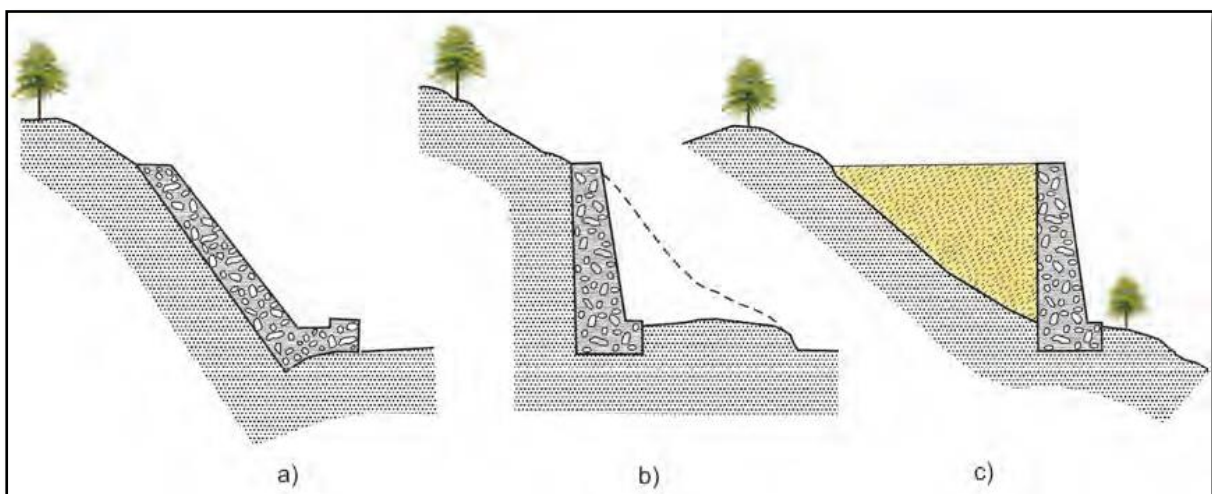


Figura 34. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976).

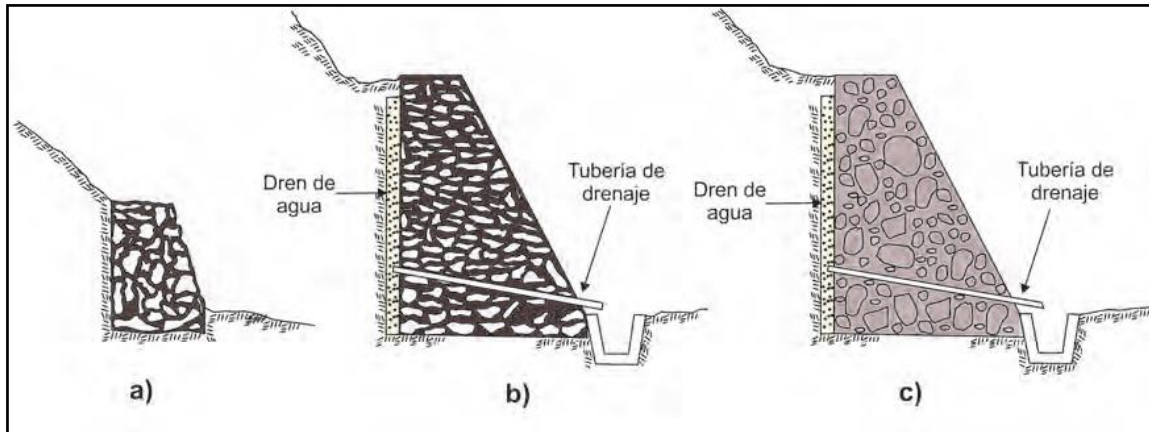


Figura 35. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

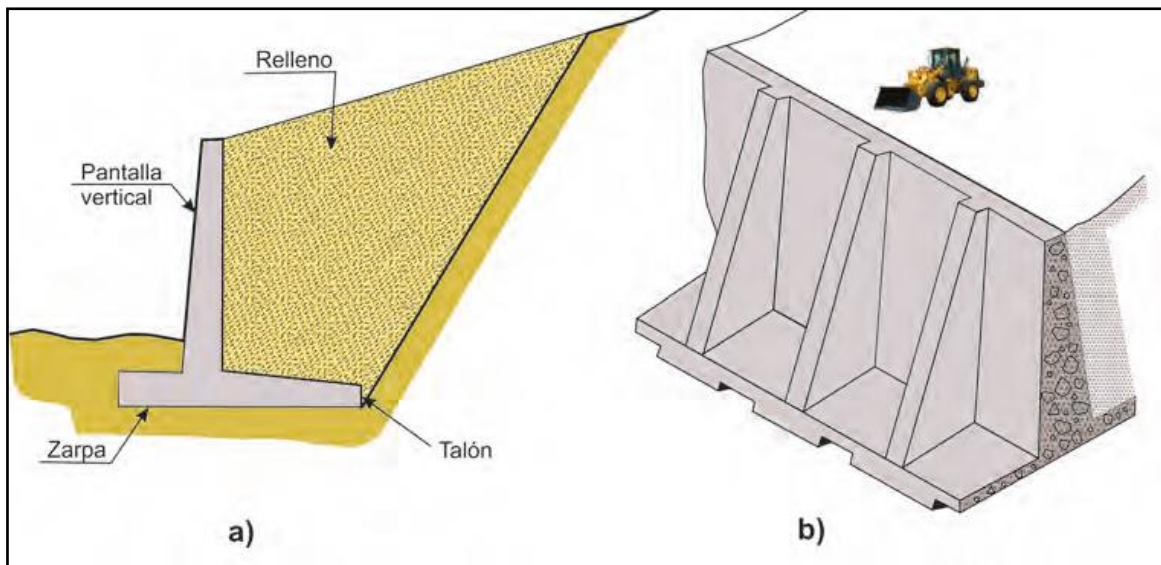


Figura 36. Tipo de muros: a) revestimiento, b) contención, c) sostenimiento (Jiménez & et al, 1976)

Otro sistema lo conforman los Gaviones con forma de prisma rectangular, que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable como caliza, andesita, granitos, etc. retenido por una malla de alambre metálico galvanizado, cuya altura puede ser de 5 a 10 m (figura 37).

También tenemos las pantallas de pilotes, de hormigón armado, que constituyen alineaciones de pilotes cuyo diámetro varía entre 40 a 120 cm, y donde el espacio entre dos adyacentes es lo suficientemente pequeño como para conseguir un sostenimiento relativamente continuo (lamentablemente, son muy costosas). También se usan los muros de pantalla, enterrados de hormigón armado. Su acción estabilizadora ante los deslizamientos existentes o potenciales es muy similar a la de las pantallas de pilotes (figura 38).

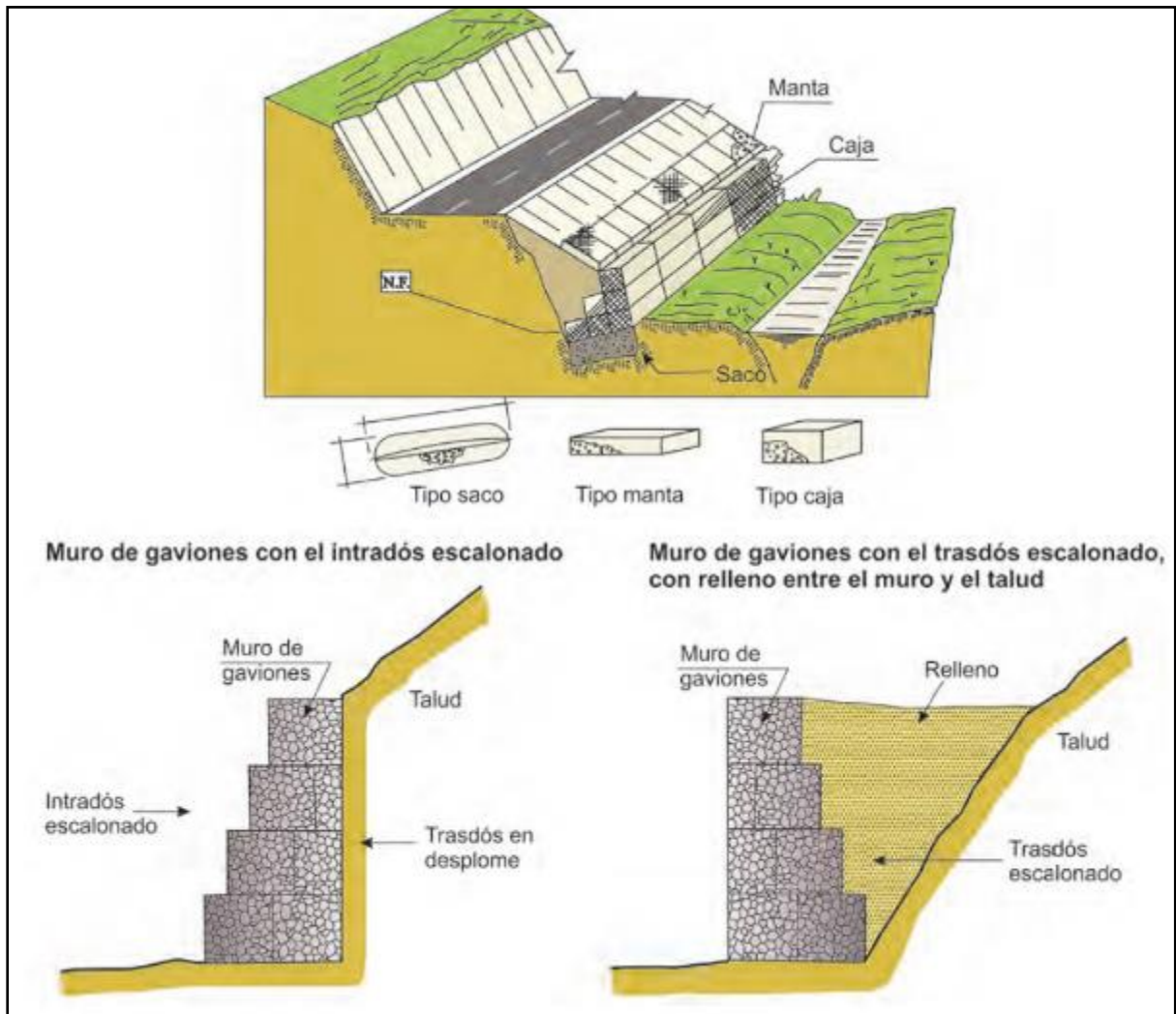


Figura 37. Muro de gaviones y ejemplos de aplicación, (Vilches, 2021)

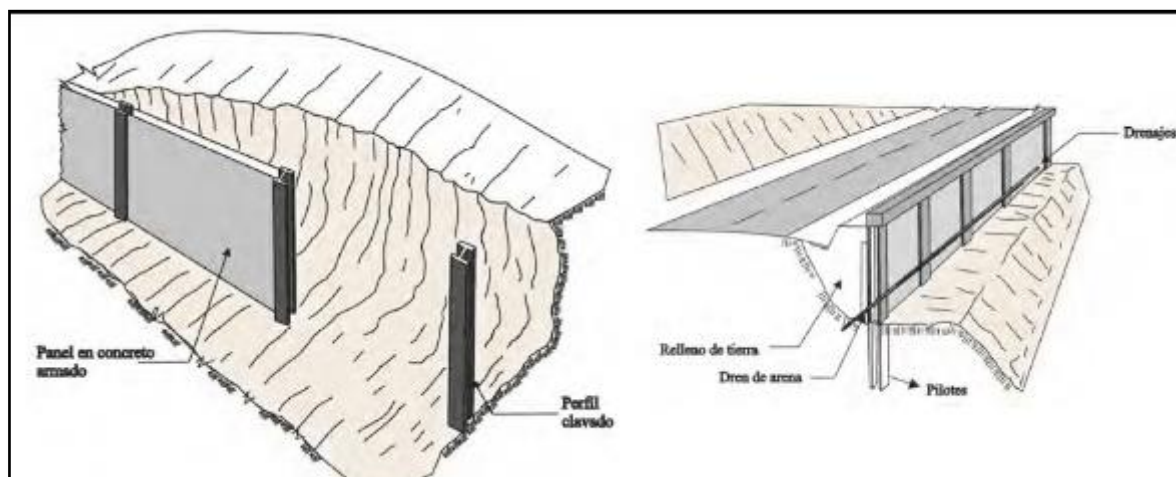


Figura 38. Ejemplo de muros de pantalla y muros con pilotes, (Vilches, 2021)

Correcciones superficiales: Estas medidas se aplican en la superficie de un talud de manera que afectan solo a las capas más superficiales del terreno con la finalidad de evitar o reducir la erosión y meteorización de la superficie del talud, eliminar los problemas derivados de los desprendimientos de rocas en los taludes donde estos predominan y aumentar la

seguridad del talud frente a pequeñas roturas superficiales. En esta categoría, se tiene, por ejemplo, el uso de: 1) mallas metálicas que cubren la superficie del talud con la finalidad de evitar la caída de fragmentos de roca, lo cual es siempre peligroso, especialmente en vías de transporte o cuando hay personal trabajando en el pie del talud. En la parte final de la malla se suele dejar un metro por encima de la zanja de acumulación de fragmentos sueltos de rocas, apropiados cuando el tamaño de roca por caer se encuentra entre 0,6 a 1 m (figura 39).



Figura 39. Mallas de protección con anclajes para caída de rocas o derrumbes tanto en detritos como roca alterada, (Vilches, 2021)