

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

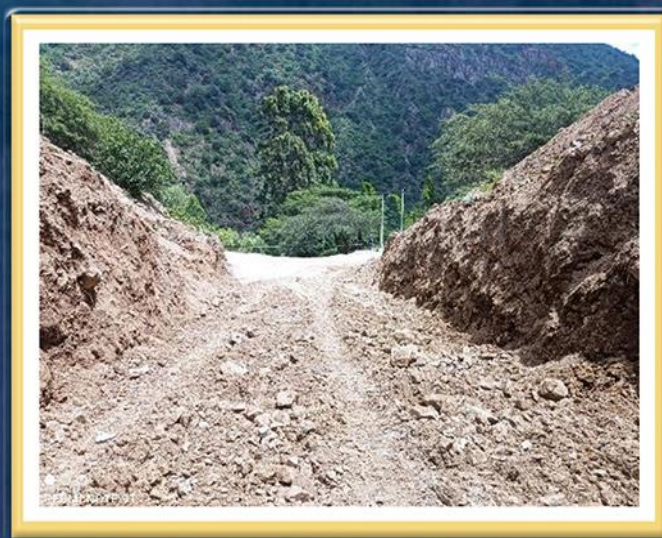
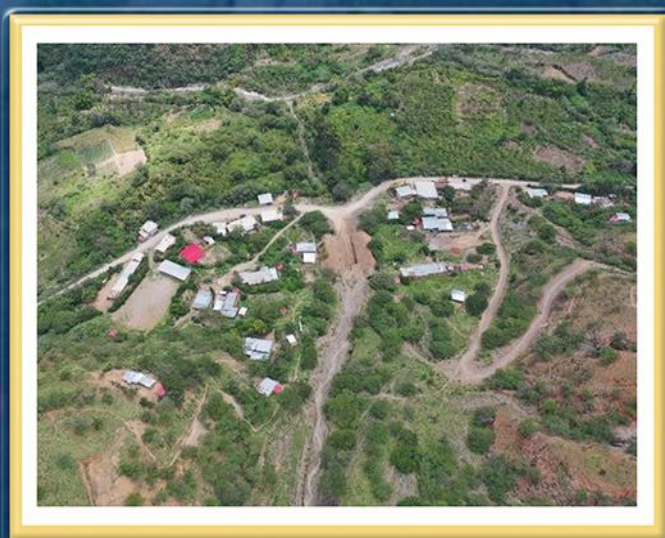
Informe Técnico N° A7711

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS Y CÁRCAVAS EN EL CASERÍO TINGO

Departamento: Cajamarca

Provincia: Jaén

Distrito: San Felipe



DICIEMBRE
2025

EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR FLUJO DE DETRITOS Y CÁRCAVAS EN EL CASERÍO TINGO

Distrito San Felipe
Provincia Jaén
Departamento Cajamarca



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

Equipo de investigación:

Luis León Ordáz

Cristhian Chiroque Herrera

Elvis Alcántara Quispe

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2025). “*Evaluación de peligro geológico por flujo de detritos y cárcavas en el caserío Tingo, distrito San Felipe, provincia Jaén y departamento Cajamarca*”. INGEMMET, Informe Técnico A7711, 35p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
DEFINICIONES	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación.....	6
1.3.2. Accesibilidad	6
1.3.3. Población.....	6
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	8
2.1. Unidades litoestratigráficas	8
2.1.1. Complejo Olmos (Oi-co).....	8
2.1.2. Depósitos cuaternarios	8
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	10
3.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	10
3.2. Pendientes del terreno	11
3.3. Unidades geomorfológicas	12
3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	12
3.3.1.1. Unidad de montaña	12
3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional.....	13
3.3.2.1. Unidad de Abanico	13
3.3.2.2. Unidad de piedemonte	14
3.3.2.3. Unidad de Planicie	15
3.3.2.4. Geoformas particulares	15
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	17
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	17
4.1.1. Flujo de detritos latentes.....	17
4.1.2. Depósitos de flujos de detritos antiguos.....	19
4.1.3. Erosión en cárcava	20
4.2. Factores condicionantes	21
Geomorfológico	21
Litológico	22
5. CONCLUSIONES	23

6. RECOMENDACIONES	24
7. BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXO 1: MAPAS	26
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	30

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa del tipo flujo de detritos y cárcavas ocurridos en el caserío Tingo; perteneciente a la jurisdicción del distrito San Felipe, provincia Jaén y departamento Cajamarca. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El 10 de marzo del 2023, en el caserío Tingo se reportaron flujos de detritos que afectaron trochas carrozables, viviendas y cultivos. Los flujos de detritos descienden desde el cerro Muyo Corral sobre relieves montañosos con afloramientos muy fracturados, donde los fragmentos desprendidos y depositados en laderas y cauces de quebradas, son arrastrados por el agua de escorrentía hasta formar flujos de detritos. Además, se identificaron procesos de erosión de laderas denominados como cárcavas.

En el área evaluada afloran esquistos rocas metamórficas correspondientes al Complejo Olmos. Sus afloramientos se encuentran cubiertos por depósitos aluviales (Q-al) conformados por bloques dispersos, gravas y cantos subredondeados a redondeados con matriz de arena de grano medio a grueso, en capas medianamente compactas y porosas. Además de depósitos fluviales (Q-fl) conformados por clastos y gravas distribuidos en el cauce del río Piquijaca.

Los flujos de detritos pasados modelaron vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales (P-at) y abanicos aluviales (Ab) sobre los cuales hoy se asientan las viviendas del área urbana del caserío Tingo. Relieves de montañas en este substrato metamórfico, presentan pendientes moderadas a muy fuertes (15°- >45) que, limitan terrazas aluviales y el cauce del río Piquijaca.

Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presentan las laderas donde se ubica el caserío Tingo, se considera de **Peligro Alto** ante flujos de detritos que podrían activarse ante lluvias intensas, afectando vías de comunicación, canales de riego y cultivos.

Se recomienda, reforestar la ladera media y baja del cerro Muyo Corral, además de encausar las quebradas principales a través de gaviones, muros de contención y dissipadores de energía; complementada con limpieza periódica de los cauces. Además de, elaborar estudios de evaluación de riesgo de desastres (EVAR), tomando en cuenta los peligros geológicos evaluados.

DEFINICIONES

En el presente glosario se describen los términos establecidos en la “Guía para la evaluación de amenazas” elaborada como parte del Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en masa en la Región Andina GEMA, del PMA:

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

Flujo: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

Flujo de detritos (huaico): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

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

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

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

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, institución técnico-científica que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), “Servicio de asistencia en la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 16)”, contribuye con las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico en zonas con presencia de elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de San Felipe, según OFICIO N° 201-2025-MDSF/A, es en el marco de nuestras competencias que se realizó la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo “flujos de detritos y erosión de laderas”, los cuales afectaron viviendas, vías de acceso, canales de riesgo, terrenos de cultivo y la pérdida de una vida humana.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los ingenieros Cristhian Chiroque, Luis León y Elvis Alcántara para realizar la evaluación de peligros geológicos, los trabajos de campo estuvieron acompañados por autoridades locales del caserío Tingo.

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

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

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

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

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

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

- A. Boletín N° 44, serie C: Riesgos Geológicos en la Región Cajamarca, realizado por Zavala & Rosado., 2010; muestra el inventario de peligros geológicos en la región Cajamarca; además de la elaboración del mapa de susceptibilidad a

movimientos en masa a escala 1:250 000, mediante la superposición de capas o mapas de factores condicionantes como la litología y las pendientes, mediante un geoprosesamiento en GIS (Tabla 1 y figura 1). En el mapa se muestra que, la localidad de Tingo tiene una susceptibilidad muy alta ante la ocurrencia de movimientos en masa. En la zona evaluada afloran andesitas muy fracturadas con intercalación de lutitas muy fracturadas e intensamente meteorizadas.

Tabla 1. Niveles de susceptibilidad a movimientos en masa.

CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS	DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	RECOMENDACIONES
SUSCEPTIBILIDAD MUY ALTA: Condiciones del terreno muy favorables para generar movimientos en masa. Se concentra donde ocurrieron deslizamientos en el pasado o recientes reactivaciones de los antiguos, al modificar sus taludes.		
Substrato rocoso de mala calidad, roca metamórfica (Complejos olmos y Marañón), sedimentaria (caliza, lutita y marga; arenisca y cuarcita), depósito coluvial. Relieve montañoso o colinado estructural-erosional y vertientes coluvio-deluvial y detritos indiferenciados. Pendientes de laderas alta (entre 25° y 45°). Incluye zonas de depósito de deslizamiento antiguos.	Se encuentran distribuidos en sectores, Noroccidental: Tabaconas, oeste de Namballe y San Ignacio, adyacente a Sallique y San Felipe. En el río Huancabamba (Pucará); Valle del Río Huayllabamba y Chamaya (Zonanga), río Callalluc, entre Santo Domingo de la Capilla y Chiple. Cabecera de Jaén, sector de Huabal y cuenca media del río Tabaconas (San José del Alto). Nororiental: Algunas zonas entre San Ignacio y San José de Lourdes, valle del río Chirinos y sector entre Huarango y Santa Rosa.	Prohibir el desarrollo de infraestructuras, sin el conocimiento geológico detallado previo. Son necesarios los estudios geológicos-geotécnicos al detalle para el desarrollo y construcción probable de infraestructura de cualquier tipo (carretera, puente, presa, hidroeléctrica), o habilitación urbana.
SUSCEPTIBILIDAD ALTA: Confluyen la mayoría de condiciones del terreno favorables a generar movimientos en masa, cuando se modifican sus taludes. Colindan con zonas de muy alta susceptibilidad en el sector comprendido entre Cachachi, Suchubamba, Cospán y Contumazá.		
Substrato volcánico (andesita y brecha); arenisca, cuarcita, conglomerado, limolita y arcillita roja; rocas intrusivas alteradas. Relieves de montaña o colina en rocas metamórficas y estructural-erosionales en rocas sedimentarias-volcánicas. Pendiente suave-moderada a alta (15° a 25°, y mayores a 45°). Cobertura vegetal: Terrenos desprovistos de vegetación y áreas con intensa deforestación, bosques secos, matorrales y áreas con actividad minera.	Distribución importante en la región, destacan; la Zona Central: comprende un polígono entre Huambos, Cochabamba, Cutervo, Chiguirip, Conchán, Chota, Bambamarca, Hualgayoc, Chugur, Yauyucán, Catache, Santa Cruz, Sexi, Llama. Zona Norte: Entre el lado Sur de San Ignacio y Jaén (Chirinos, La Coipa, Huarango, Santa Rosa, Bellavista, Las Pirias); entre San Ignacio y Namballe. Entre Choros y Chamaya; sector de Colasay, Pomahuaca, San Felipe.	Restringir el desarrollo de Infraestructura urbana, o de instalaciones para una alta concentración de población. En el caso de infraestructura vial, líneas de energía, actividad minera, etc., se deberán realizar estudios geotécnicos al detalle

- B. Boletín N° 39, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos, Pomahuaca”. Hojas: 9-c, 9-d, 10-c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d y 12-e (1980).

El área de evaluación se ubica en el centro del cuadrángulo de Pomahuaca, hoja 12-e a escala 1: 100 000 que abarca gran parte del distrito de San Felipe. En la zona de evaluación afloran andesitas muy fracturadas en contacto con cuarcitas blancas a grises e intercalaciones de lutitas del Grupo Goyllarisquiza (Ki-g). Los afloramientos forman relieves montañosos con pendientes fuertes a escarpadas, se ubican en la parte alta del cerro Carcoron donde afloran tobos volcánicas con intercalaciones de margas y lutitas correspondiente a las Formaciones Chayllacatana (Kis-cha) y Chulec (Kis-chu), estos relieves se encuentran cubiertos por piedemontes coluvio-deluviales donde se asienta el centro poblado Piquijaca. Esta información fue actualizada a escala 1/50 000, donde se

identificaron rocas volcánico-sedimentarias conformadas por andesitas y cuarcitas con intercalaciones de lutitas.

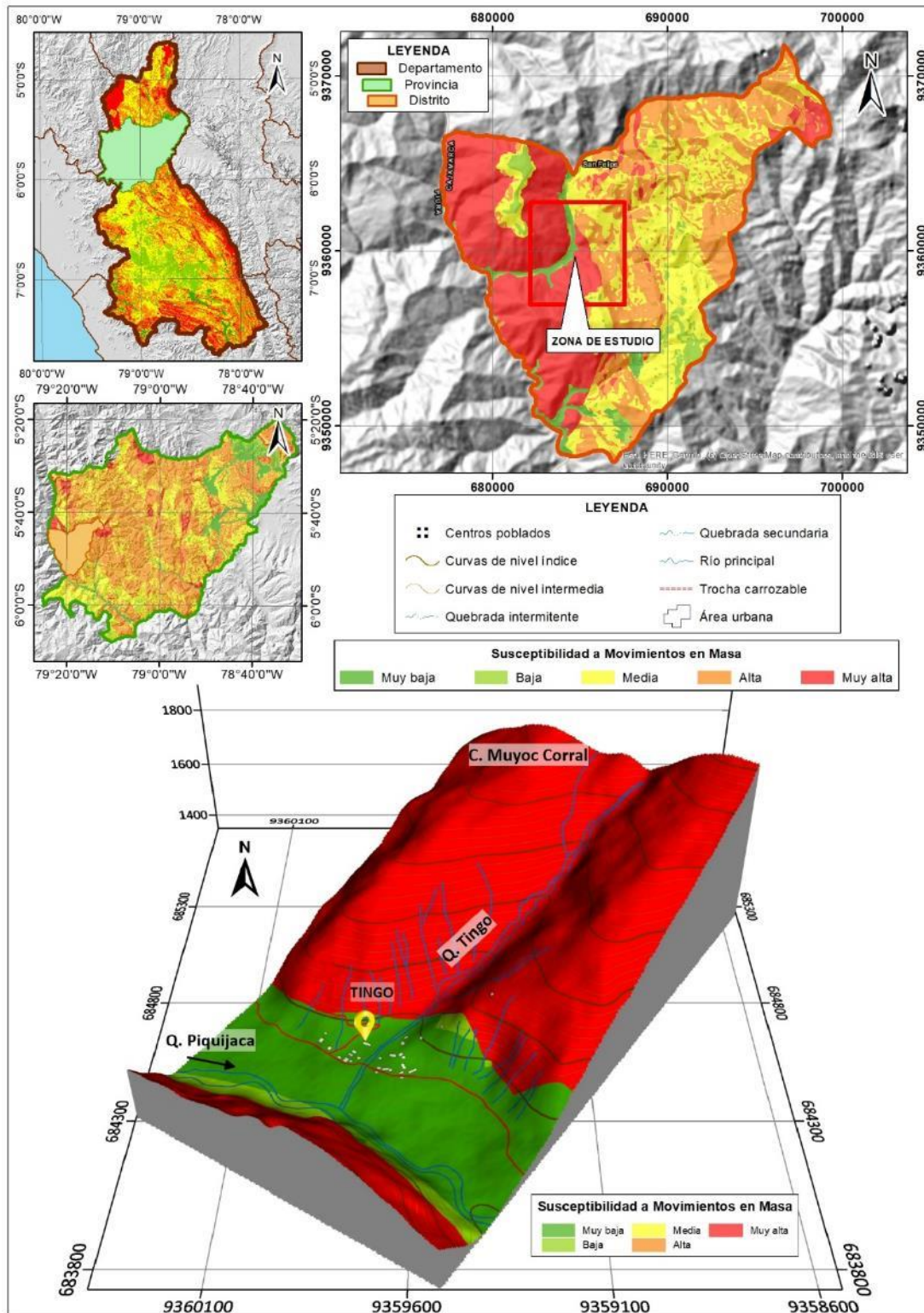


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:250 000 de la zona de evaluación. (Zavala, et al. 2010).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación abarca el caserío Tingo, ubicado en la margen izquierda del río Piquijaca, perteneciente al distrito San Felipe, provincia Jaén y departamento de Cajamarca (figura 2); ubicado en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S) (tabla 2):

Tabla 2. Coordenadas del área de evaluación

Vértice	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	683849	9360237	5° 47' 7.822" S	79° 20' 22.633" W
2	685235	9360237	5° 47' 7.690" S	79° 19' 37.581" W
3	685235	9359194	5° 47' 41.633" S	79° 19' 37.481" W
4	683849	9359194	5° 47' 41.765" S	79° 20' 22.534" W
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Coordenada principal	684550	9359691	5° 47' 25.540" S	79° 19' 59.799" W

1.3.2. Accesibilidad

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

Tabla 3. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cajamarca – Chota	Asfaltada	145	3 h 40 min
Chota – Cutervo	Asfaltada	66	2 h
Cutervo – Tingo	Trocha carrozable	145	3 h 15 min

1.3.3. Población

Los resultados de los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígena, señalan para los sectores evaluados una población de 96 varones y mujeres; donde el caserío Tingo presenta un total de 33 viviendas con alrededor de 40 familias que podrían verse afectadas ante la activación de los deslizamientos identificados (INEI, 2017):

CENTROS POBLADOS	ALTITUD (m s.n.m.)	POBLACIÓN CENSADA			VIVIENDAS PARTICULARES		
		Total	Hombre	Mujer	Total	Ocupadas 1/	Desocupadas
DEP CAJAMARCA							
PROVINCIA JAÉN							
DISTRITO SAN FELIPE							
TINGO	1 388	96	51	45	33	33	-
1/ Comprende viviendas con personas presentes, viviendas con personas ausentes y viviendas de uso ocasional.							
2/ Centro poblado con población solamente en viviendas colectivas.							
Fuente: INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 2017.							

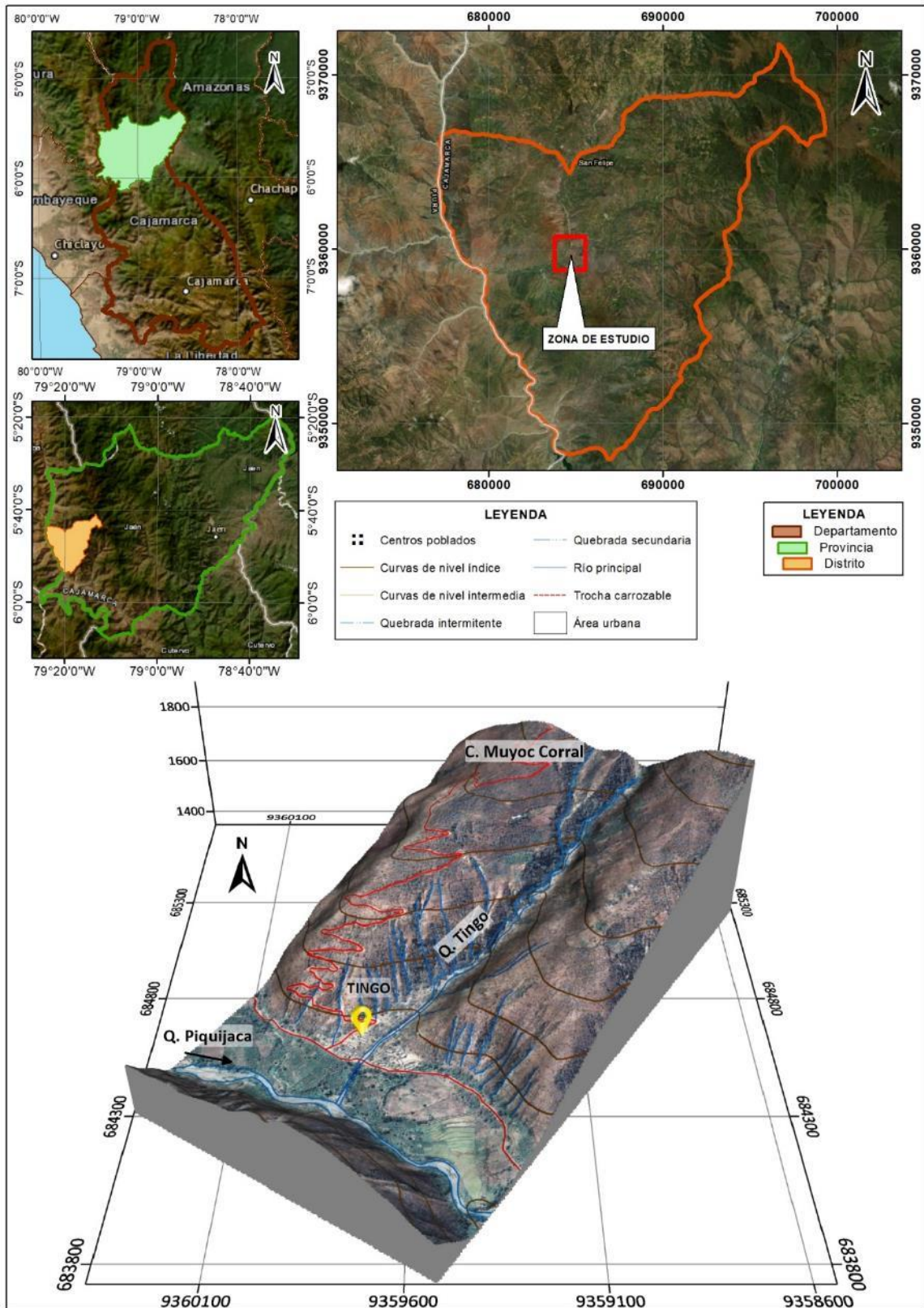


Figura 2. Ubicación del caserío Tingo.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis ingeniero - geológico realizado en el caserío Tingo, se desarrolló en base a la información recolectada en campo y al análisis del cuadrángulo geológico de Pomahuaca hoja 12-e a escala 1:100 000 (Reyes, R.; et al 1980). Esta información fue actualizada en el año 2009, donde se elaboró el Mapa geológico del Cuadrángulo de Pomahuaca – Hoja 12-e-III a escala 1:50 000. Se describen afloramientos de esquistos de clorita del Complejo Olmos y cuarcitas blancas a grises de grano fino a medio de la Formación Ñaupe y depósitos aluviales que se enmarcan en valles, ríos y quebradas formando terrazas, además de, depósitos proluviales que se muestran el Anexo como Mapa 1.

2.1. Unidades litoestratigráficas

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

2.1.1. Complejo Olmos (Oi-co)

Esta litología está conformada por esquistos deformados, se identificaron además segregaciones de cuarzo de color blanco a gris, se distribuyen en montañas escarpadas que afloran al oeste y este del caserío Tingo. Estas secuencias se encuentran fuertemente fracturadas e intensamente meteorizadas (fotografía 1).



Fotografía 1. Afloramiento de esquistos y cuarzos del complejo Olmos.

2.1.2. Depósitos cuaternarios

Depósito aluvial (Q-al)

Son acumulaciones sucesivas y alternadas de materiales de origen aluvial, conformada por fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantos y gravas) transportadas por corrientes de ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y distribuidos en forma de terrazas y planicies de inundación. Este tipo de depósitos se encuentran medianamente compactos y son afectados por erosión fluvial ante incrementos de caudales en temporada de lluvias extraordinarias (fotografía 2).

Depósito fluvial (Q-fl)

Lo constituyen materiales de los lechos de ríos o quebradas, terrazas bajas y

llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas con arenas e grano medio a grueso. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta (fotografía 2).



Fotografía 2. Vista hacia la quebrada Piquijaca donde se observan depósitos fluviales.

En la zona de evaluación este tipo de depósito se distribuye en el cauce del río Piquijaca y ambas márgenes de este a oeste.

Depósito proluvial (Q-pl)

Corresponden a depósito de huaycos o flujos detritos, transportados en los cauces de los ríos o quebradas,. Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas angulosas a subangulosas en matriz arenosa o limosa.



Fotografía 3. Depósitos proluviales en la quebrada Tingo en el caserío del mismo nombre.

En la zona de evaluación este tipo de depósito se distribuye en el río Piquijaca que desciende de este a oeste.

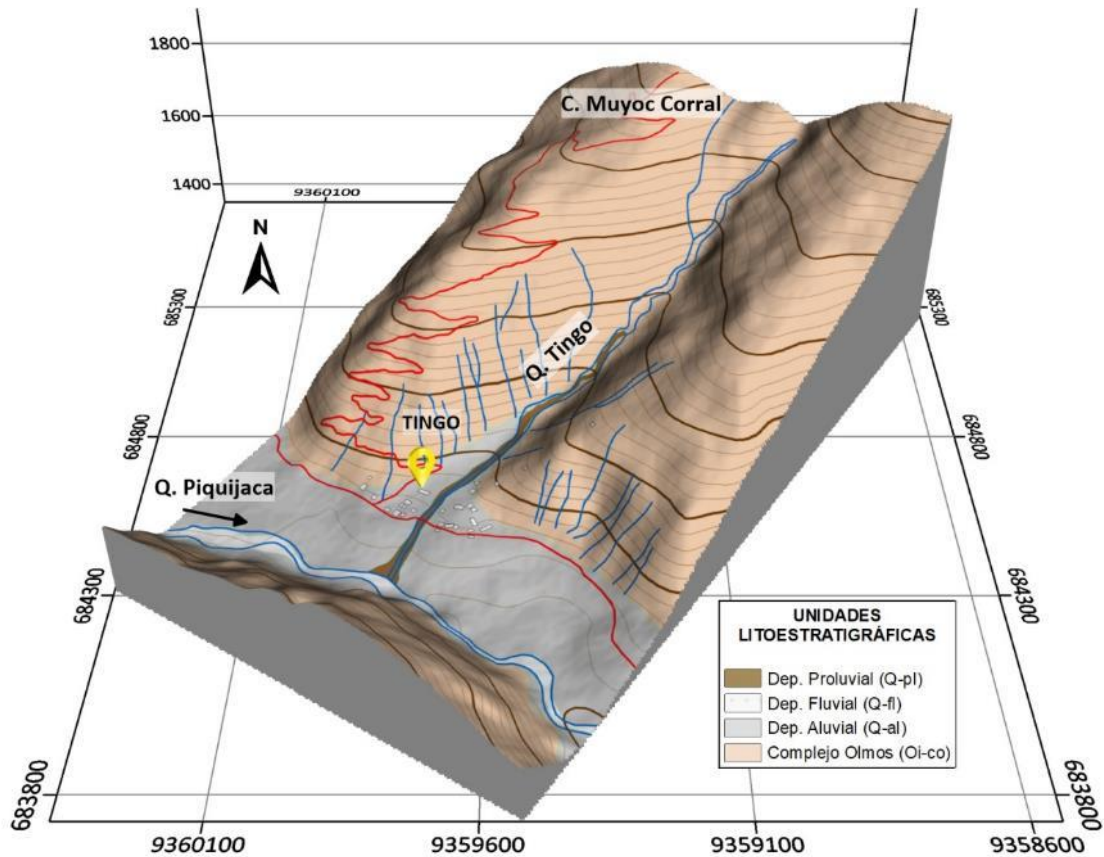


Figura 3. Afloramientos de rocas identificadas en la zona de evaluación.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

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

3.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El área de evaluación alcanza hasta 1800 m s.n.m, al noreste de la localidad de Tingo en el cerro Muyo Corral, mientras que, las cotas más bajas se ubican al suroeste del área urbana en el cauce del río Piquijaca con 1350 m de altitud. Los peligros geológicos como flujos de detritos y erosión en cárcavas se distribuyen sobre una ladera con elevaciones entre 1440 m s.n.m. y 1760 m s.n.m, en la zona de arranque y pie de las zonas de piedemonte y terrazas (figura 4). En las laderas se desarrolla actividad agrícola por ende es irrigada por canales de riego sin revestir, se identificaron sequías, en la parte superior o corona de los derrumbes y deslizamientos.

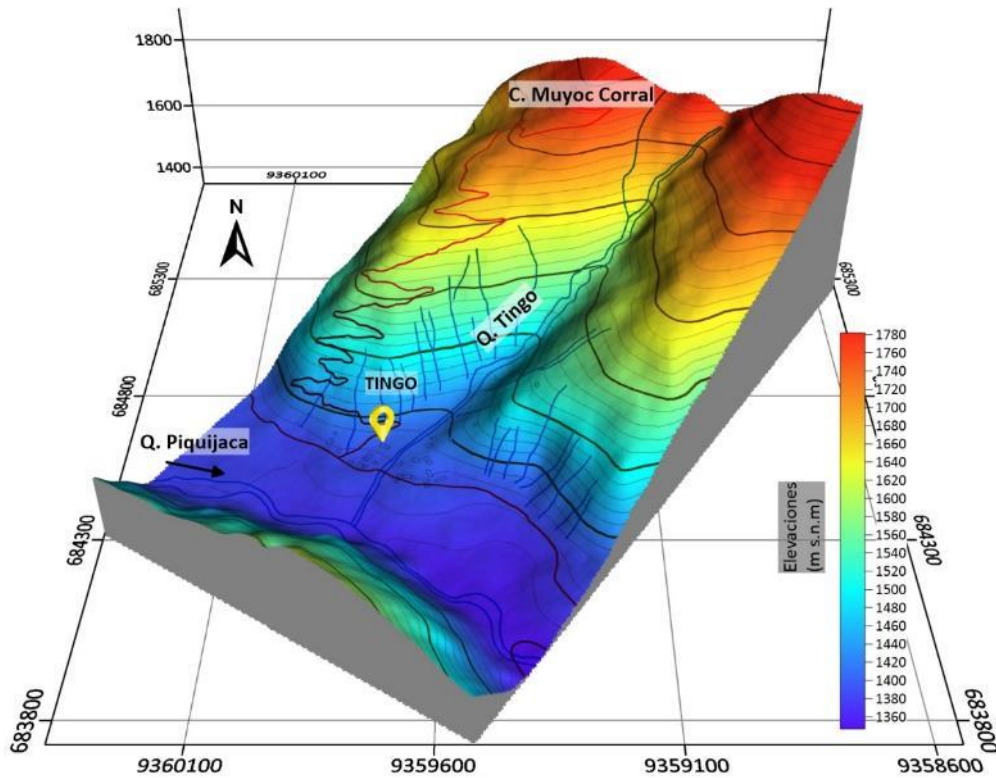


Figura 4. Elevaciones en el área de evaluación.

3.2. Pendientes del terreno

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

El área de evaluación abarcó un total de 167 ha, mediante el modelo digital de elevaciones, se elaboró el mapa de pendientes, que fue rasterizado y luego reclasificado para el cálculo de áreas, expresado en porcentaje por cada rango de pendiente (figura 5).

Se determinó que, el área de evaluación presenta laderas con pendientes llanas a suavemente inclinadas ($0^\circ - 5^\circ$) solo abarcan el 1% (0.9 ha), en estos rangos se asienta parte del área urbana del caserío Tingo. Los relieves con pendientes moderadas a fuertes ($5^\circ - 25^\circ$) alcanzan las 73 ha (44 %), donde se desarrollan los procesos de erosión de laderas formando cárcavas. Las pendientes muy fuertes a muy escarpadas ($25^\circ - 90^\circ$) abarcan la mayor parte del área de estudio 88 ha (53 %) y son relieves ubicados en la parte alta de las montañas donde se ubican las zonas de arranque de los movimientos en masa identificados tipo flujos.

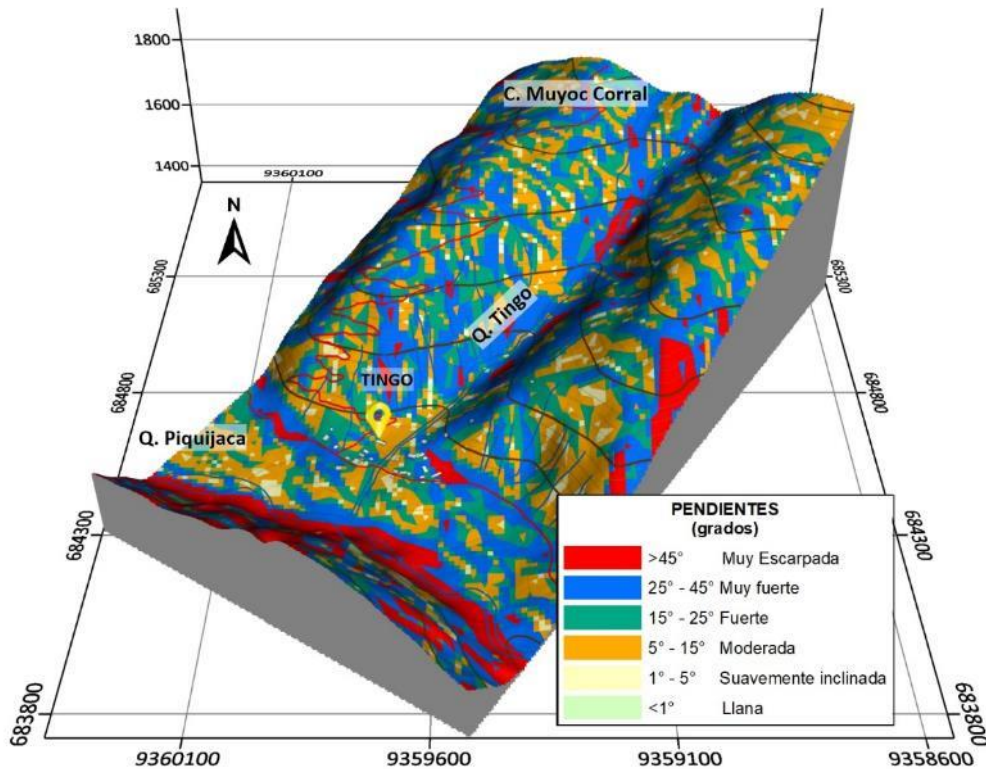


Figura 5. Pendientes en el caserío Tingo.

3.3. Unidades geomorfológicas

La cartografía geomorfológica y la delimitación de unidades geomorfológicas se realizó utilizando el criterio principal de homogeneidad relativa y la caracterización de aspectos de origen del relieve (erosión o acumulación), individualizando cuatro tipos generales y específicos del relieve en función de la altura relativa, diferenciándose cauces, terrazas, piedemontes y montañas (Zavala. et al 2010).

A continuación, se mencionan las principales unidades y subunidades geomorfológicas identificadas y que conforman el relieve en la zona de estudio. Tomando como base el mapa geomorfológico de Cajamarca, a escala 1/ 250 000 (Zavala, B. et al 2010), se realizó el ajuste y definición de las unidades mediante la información obtenida en campo (Anexo 1: Mapa 2).

3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

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

3.3.1.1. Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 m de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas y que presenta un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

Subunidad de montaña en roca sedimentaria (RM-rs): Se distribuye ampliamente a 1.5 km noreste y norte de la localidad de Tingo, presentando relieves con pendientes fuertes a muy escarpadas. Las montañas en rocas sedimentarias conforman relieves que alcanzan hasta los 1500 m s.n.m.

Subunidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm): Esta unidad geomorfológica se distribuye ampliamente al este y oeste del caserío Tingo y a ambos márgenes del río Piquijaca, están conformados por esquistos mostrando relieves con pendientes muy fuertes a muy escarpadas. Las montañas se distribuyen en gran parte del área de evaluación, conforman relieves que alcanzan hasta los 2100 m s.n.m (figura 6).



Figura 6. Montaña en roca metamórfica hacia el este de la quebrada Tingo.

3.3.2. Geformas de carácter depositacional y agradacional

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

3.3.2.1. Unidad de Abanico

Los abanicos se originan cuando una corriente o flujo de materiales es transportada desde su fuente a través de un canal encajonado en donde a medida que se desplaza ladera abajo pierde su encajonamiento y pasa a una forma de Lomadas dispersión radial adoptando la geometría de un cono, se da en la transición entre un relieve montañoso activo expuesto a constante erosión y transporte y un relieve con pendientes más bajas o llanas en donde ocurren procesos de depositación.

Subunidad de abanico de piedemonte (Ab): Los abanicos de piedemonte se han emplazado desde las partes altas de las montañas formadas o modeladas por corrientes de agua como ríos o quebradas con pendientes bajas menores a 15° y las zonas llanas

con pendientes menores a 5°, estas zonas se encuentran al oeste de la zona de estudio y son afectadas por procesos de remoción en masa (figura 7).



Figura 7. Abanico de piedemonte, parte del área urbana se ubica sobre esta geoforma.

3.3.2.2. Unidad de piedemonte

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

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Corresponden a planicies inclinadas a ligeramente inclinadas y extensas, posicionadas al pie de las estribaciones andinas o los sistemas montañosos, formadas por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales, de carácter extraordinario, así como por lluvias ocasionales extraordinarias que se presentan en la región. Muchos de estos depósitos están asociados a cursos individuales de quebradas secas. Se asocian, principalmente, al fenómeno de El Niño (figura 8).



Figura 8. Piedemonte aluvio-torrencial modelado por la quebrada Tingo.

3.3.2.3. Unidad de Planicie

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

Subunidad de Terraza aluvial (T-al): Geoforma de origen denudacional y/o depositacional, forma bancos o graderías de sedimentación aluvial, ubicadas en las márgenes de los ríos y quebradas, en el sector evaluado se ha identificado esta geoforma en ambas márgenes del río Piquijaca, constituido por material subanguloso y polimíctico en una matriz arcillo limosa (figura 9).

3.3.2.4. Geoformas particulares

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, determinado por una acción prolongada de los procesos denudacionales.

Subunidad de cauce de río (R): Esta unidad corresponde al cauce y lecho del río Piquijaca, que se desplaza de norte a sur, recolectando el drenaje y la escorrentía de la zona, transportando materiales conformados por bloques, clastos, gravas y arenas gruesas recorriendo un total de 5.5 km desde la cuenca alta del distrito del mismo nombre (figura 9).



Figura 9. Vista hacia el cauce del río Piquijaca y terrazas aluviales en ambas márgenes.

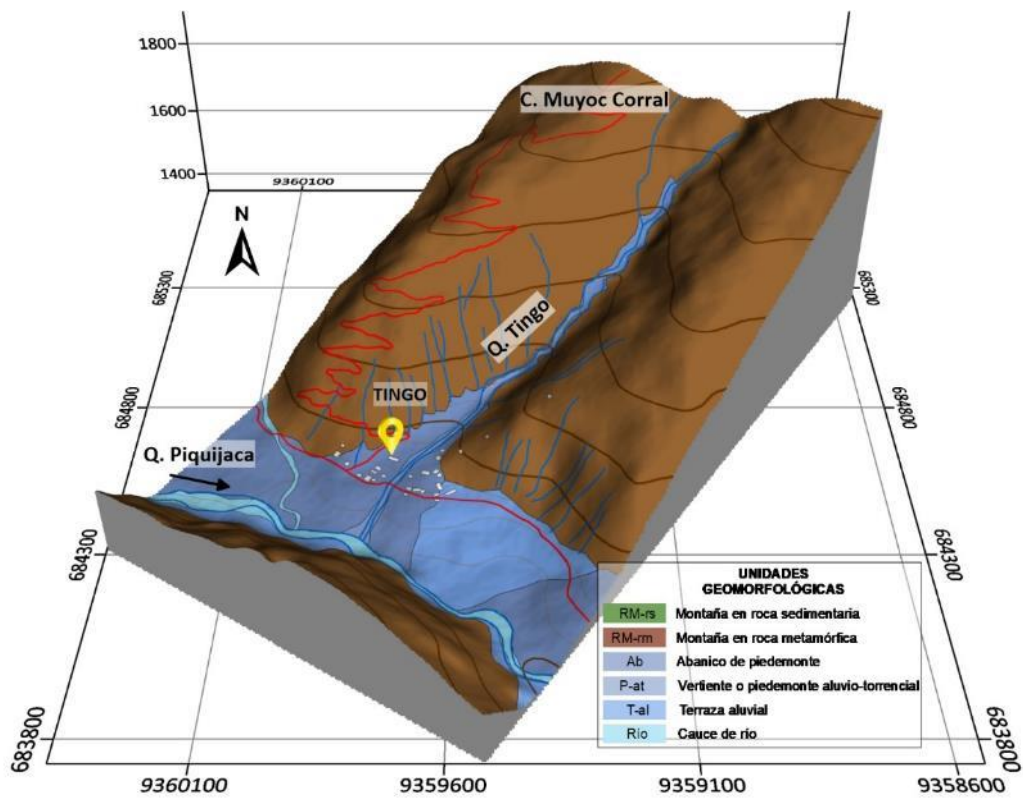


Figura 10. Geofomas delimitadas en el caserío Tingo.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los principales peligros geológicos identificados en el caserío Tingo, corresponden a movimientos en masa de tipo flujos de detritos y erosión de laderas (cárcavas) (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, condicionado por afloramientos de rocas incompetentes, sedimentos poco consolidados y susceptibles a la generación de movimientos en masa (Anexo 1: Mapa 3).

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

En Tingo se identificaron 02 flujos de detritos; además, se delimitaron procesos de erosión de laderas (erosión en cárcavas).

En los trabajos de campo se contó con el apoyo de los pobladores, en el mes de marzo del 2017, ocurrieron varios flujos que dejaron incomunicada al área urbana de Tingo además de pérdida de cultivos y viviendas inundadas.

Para caracterizar los eventos geodinámicos ocurridos en el caserío Tingo, se realizaron trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través de la cartografía geológica y geodinámica basada en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas y fotogrametría con dron.

4.1.1. Flujo de detritos latentes

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

Los flujos de detritos ocurridos en la quebrada Tingo se consideran latentes, pues de generan debido a la ocurrencia de procesos de erosión en cárcavas y pequeños flujos que descienden desde los cerros Muyo Corral y San Felipe hasta el área urbana de la localidad de Tingo y desembocan hacia el río Piquijaca recorriendo un total de 3.1 km.

El flujo alcanza un ancho de 15 m (Sección A-A'), 23 m (Sección B-B') y 8 m (Sección C-C'), se destaca que, el cauce de la quebrada fue reducido y se enmarca dentro de un abanico aluvial que fue modelado por flujos antiguos (figura 11).

Los materiales están conformados por gravas y clastos dispersos en una matriz limo arenosa, este frente en muchos casos presenta mayor amplitud y espesor, los flujos producen pulsos y saltos que afectan viviendas y terrenos de cultivos. El flujo identificado sigue un cauce antiguo existente donde se ha modelado un cauce actual de hasta 3.5 m de alto (figura 12).



Figura 11. Cauce de la quebrada Tingo donde desciende un flujo inactivo latente.



Figura 12. Quebrada Tingo vista hacia la trocha carrozable principal vía de acceso.

Mediante el modelo digital de terreno y la ortofoto obtenido en la fotogrametría con dron, se realizaron 03 secciones transversales al cauce de la quebrada Tingo, con la finalidad de analizar el ancho y altura del cauce y los depósitos de flujos (figura 13).

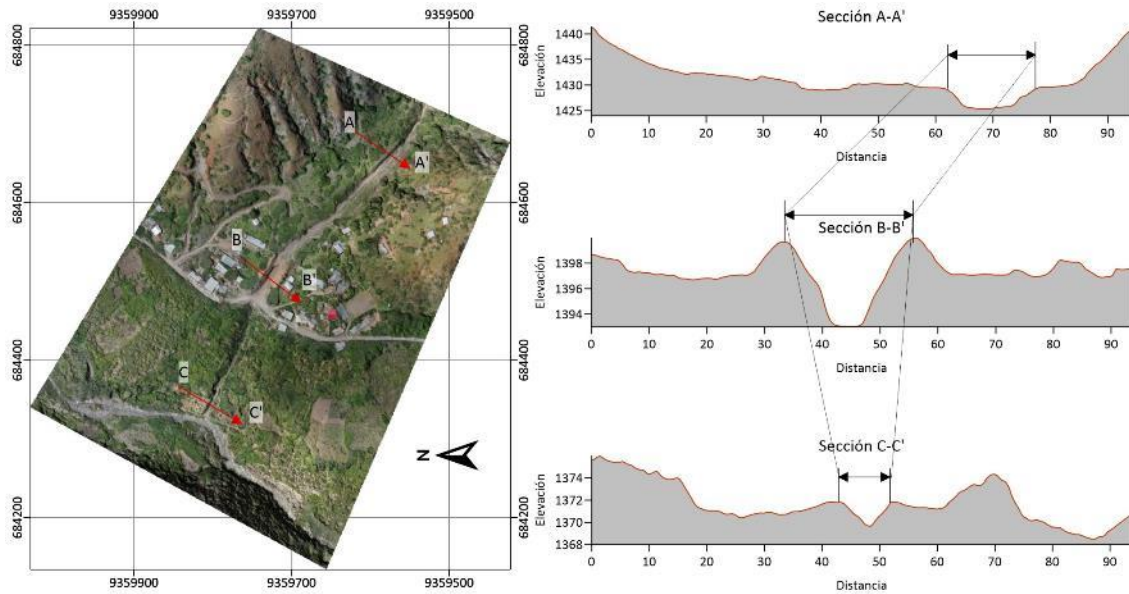


Figura 13. Sección transversal de la quebrada Tingo en el caserío del mismo nombre.

4.1.2. Depósitos de flujos de detritos antiguos

En la cartografía de campo se identificaron depósitos originados por flujo de detritos que modelaron abanicos de piedemonte aluvial, estos depósitos se extienden desde el cerro Muyo Corral hacia el río Piquijaca formando un abanico de 21 m en la parte alta de la cuenca, 90 m en la parte media y 310 m en la parte baja.

Los sedimentos cartografiados han sido catalogados como depósitos proluviales, se encuentran poco compactos, porosos y con humedad media. Estos materiales pueden ser erosionados y re transportados por incrementos súbitos de caudales de agua ante lluvias extraordinarias (figura 14) y generar nuevos flujos de detritos.

Los trabajos de campo se complementaron mediante la toma de fotos aéreas con drone/rpas, donde se obtuvo el modelo digital de terreno (MDT) y la ortofoto de alta resolución (GSD 5 cm), de esta manera se delimitó con mayor precisión la geometría de los depósitos de flujos de detritos antiguos.



Figura 14. Sección transversal del deslizamiento rotacional activo y el deslizamiento traslacional.

4.1.3. Erosión en cárcava

Los procesos de erosión como las cárcavas se intensifican sobre litologías poco competentes y coberturas cuaternarias poco consolidadas, que cubren geoformas con pendientes fuertes a muy escarpadas. Estos factores, condicionan la intensidad y la energía de los procesos de erosión que juntamente con la falta de drenaje incrementa la erosión (Anexo 01 Mapa 03).

La erosión depende de la intensidad y duración de la lluvia, estos eventos meteorológicos se registraron el mes de marzo del 2017 y durante el Ciclón Yacu del 2023, con precipitaciones diarias que se extendieron por varias horas. Recientemente, las precipitaciones entre los meses de enero a marzo del 2023 también alcanzaron picos considerables en la zona de evaluación.

A continuación, se describen las principales características de las cárcavas:

- Estado evolutivo: avanzado.
- Largo: 280 a 340 m Ancho: 25 m Profundidad: 7 m.
- Forma del drenaje: paralelo.
- Daños: vías de acceso trocha carrozable.
- Condicionante: litologías poco competentes, coberturas poco compactas y pendientes muy fuertes a muy escarpadas (15° a >45°).
- Condiciones locales: falta de drenaje pluvial y vías de acceso sin cunetas.
- Potencial para generar deslizamientos.



Figura 15. Trocha carrozable y caminos de herradura afectados por cárcavas.

Mediante la ortofoto de alta resolución obtenida con la fotogrametría con dron, se cartografiaron 24 cárcavas en la margen derecha de la quebrada Muyo Corral, mientras que, hacia la margen izquierda existen más de 15 cárcavas; la mayoría de procesos de erosión afectan trochas carrozables (figura 16).



Figura 16. Cárcavas que descienden hacia la quebrada Tingo desde el cerro Muyoc Corral.

4.2. Factores condicionantes

Geomorfológico

Las montañas en rocas metamórficas modelan laderas con pendientes fuertes a muy escarpadas que abarcan el 76% del área de estudio, mientras que, las pendientes moderadas alcanzan el 20% del total evaluado, por tanto, el 86% de las laderas donde se cartografiaron los procesos de erosión de laderas (cárcavas) y los flujos de detritos se desarrollan sobre pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa (colores verde, azul y rojo) (figura 17).

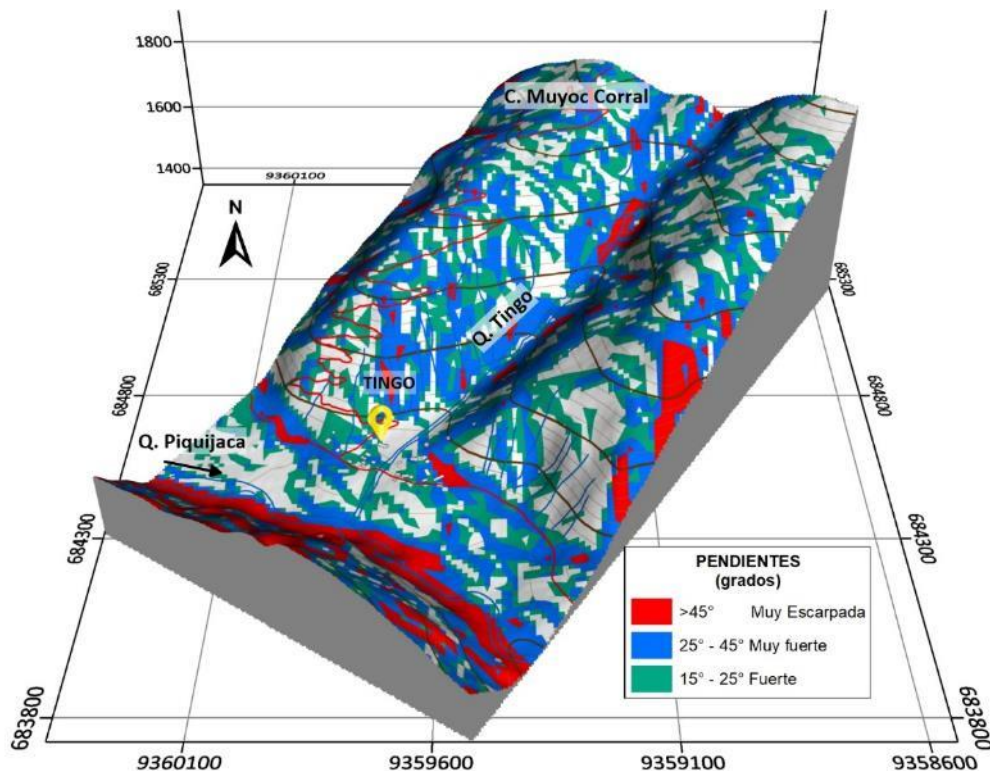


Figura 17. Rangos de pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa.

Litológico

En el área de evaluación afloran esquistos y cuarzos del Complejo Olmos, este tipo de rocas tienen condiciones geomecánicas desfavorables, caracterizadas por el fuerte fracturamiento, textura granular y foliación laminar configuración muy susceptible a movimiento en masa. En los cortes de ladera, se diferenciaron los grados de meteorización de acuerdo con la profundidad, las rocas más superficiales se encuentran moderadamente meteorizada. El factor estructural también está influenciado por la presencia de sinclinal y buzamientos a favor de la pendiente en las laderas donde se identificaron los deslizamientos antiguos.

Los materiales y sedimentos de cobertura aluvial se encuentran poco consolidados, en mayor porcentaje conformados por una granulometría gruesa: bolos (15%), cantos (15%), gravas (10%), gránulos (45%) de formas subangulosas a subredondeada; todo envuelto en una matriz arenosa (20%).

5. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica y geomorfológica del caserío Tingo, así como a los trabajos de campo, y la evaluación de peligros geológicos, se emiten las siguientes conclusiones:

- a. En el caserío Tingo afloran esquistos de cloritas y muscovitas moderadamente fracturadas y meteorizadas, mostrando condiciones geomecánicas desfavorables. Los depósitos de cobertura tienen una componente principalmente granular y angulosa (cantos, gravas y arenas) en una matriz areno-limosa, las capas se encuentran poco compactas, porosas y deleznable.
- b. Morfológicamente, el área de evaluación se ubica sobre una vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at) modelado por el curso y evolución de la quebrada Muyo Corral. Los flujos de detritos descienden de montañas en roca metamórfica (RM-rm) con pendientes muy fuertes a muy escarpadas (15° a 45°). Esta geodinámica, ha modelado un abanico de piedemonte (Ab) donde se ubica el área urbana de Tingo.
- c. En el caserío Tingo, se identificó 01 un depósito de flujo de detritos enmarcado en el actual curso de la quebrada Tingo, el cual se activó durante el Niño Costero 2017, en marzo del 2020 y recientemente durante el mes de febrero del 2023. Además, se identificó un depósito de flujo de detritos antiguo que dio origen a un abanico de piedemonte. En ambos márgenes de la quebrada, se identificaron procesos de erosión de laderas en estado de evolución avanzado.
- d. Los flujos de detritos que se activaron en temporada de lluvias extraordinarias, entre el 13 y 24 de marzo del 2023 afectaron la principal trocha carrozable de acceso y terrenos de cultivos. La fracción granular de los flujos llega hacia las quebradas y cursos adyacentes; mientras que, el agua en forma de escorrentía llega a las viviendas del caserío Tingo.
- e. La erosión de laderas en forma de cárcavas, se desarrollan en suelos poco compactos y afectan principalmente trochas carrozables y caminos de herradura, pero pueden ser precursores de deslizamientos.
- f. Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta el área de evaluación, se considera que, el caserío Tingo, tiene **Peligro Alto** ante la ocurrencia de flujos de detritos y **Peligro Medio** por erosión de laderas.

6. RECOMENDACIONES

Las medidas correctivas que a continuación se brindan tienen por finalidad mitigar el impacto de peligros asociados a deslizamientos y flujos de detritos. Así mismo, la implementación de dichas medidas permitirá darle mayor seguridad a la población e infraestructura expuesta a los peligros evaluados.

- a. Recuperar la franja marginal de la quebrada Tingo, recuperando el ancho del cauce, además de restringir la ocupación de viviendas en las márgenes afectadas por flujo de detritos.
- b. Realizar la reforestación de las laderas afectadas por flujos de detritos y erosión de laderas en los cerros Muyo Corral y San Felipe, con la finalidad de reducir el impacto de la erosión y estabilizando las laderas protegiendo el área urbana de Tingo.
- c. Se debe considerar la construcción de muros de contención, gaviones o disipadores de energía en la parte media y alta de la quebrada, para reducir la carga granular reduciendo el poder destructivo de los flujos.
- d. Implementar un programa de monitoreo de las laderas de los cerros Muyo Corral y San Felipe en el caserío Tingo afectado por flujos de detritos y erosión de laderas en temporada de lluvias.
- e. Se debe restringir las actividades agrícolas en la parte alta de la cuenca o considerar el tipo de cultivo, riego tecnificado y uso controlado del agua para riego, ya que la zona tiene muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.

7. BIBLIOGRAFÍA

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.

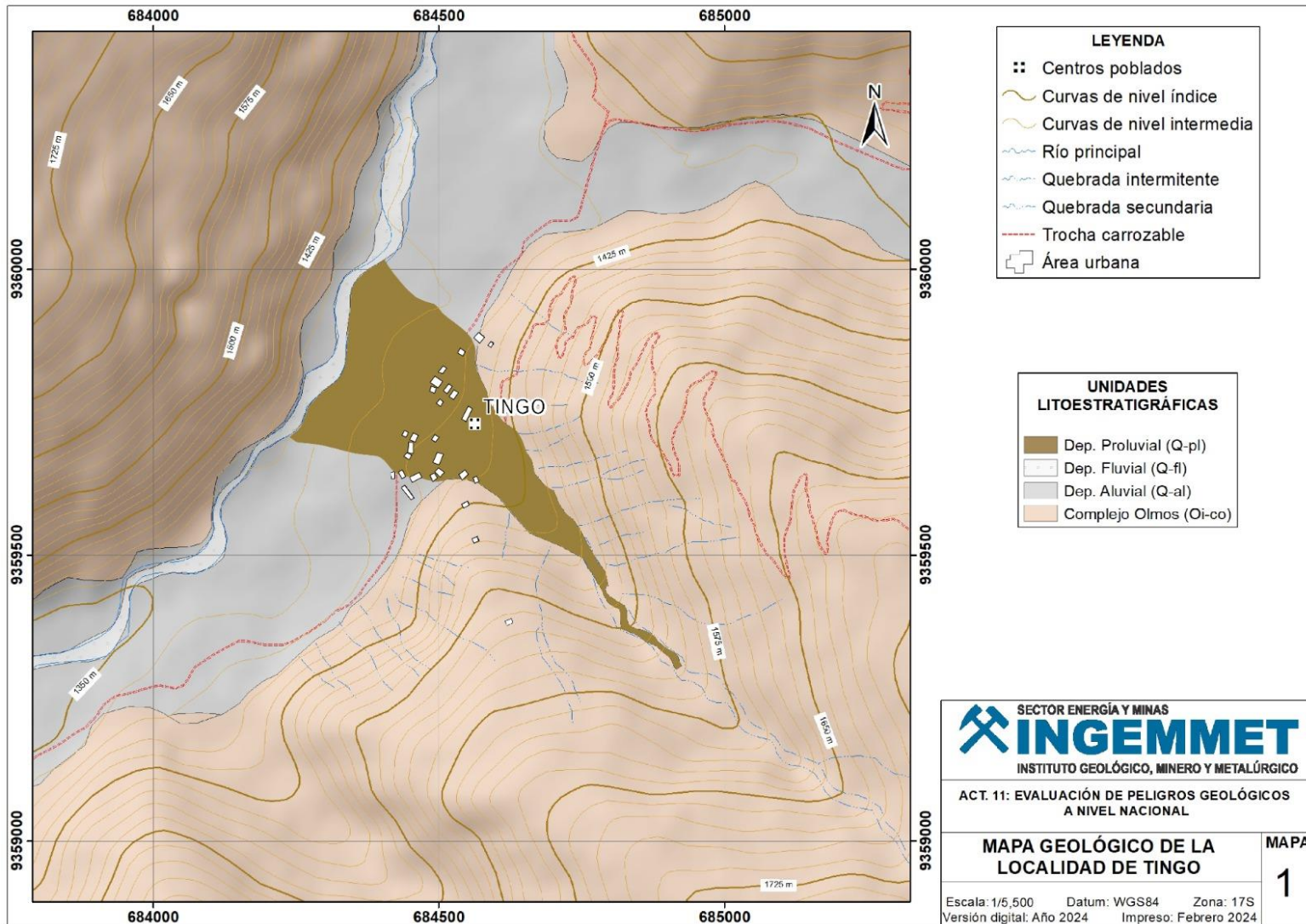
Reyes, R.L. (1980) - Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos, Pomahuaca. Hojas: 9-c, 9-d, 10-c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d y 12-e. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 39, 85 p.

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

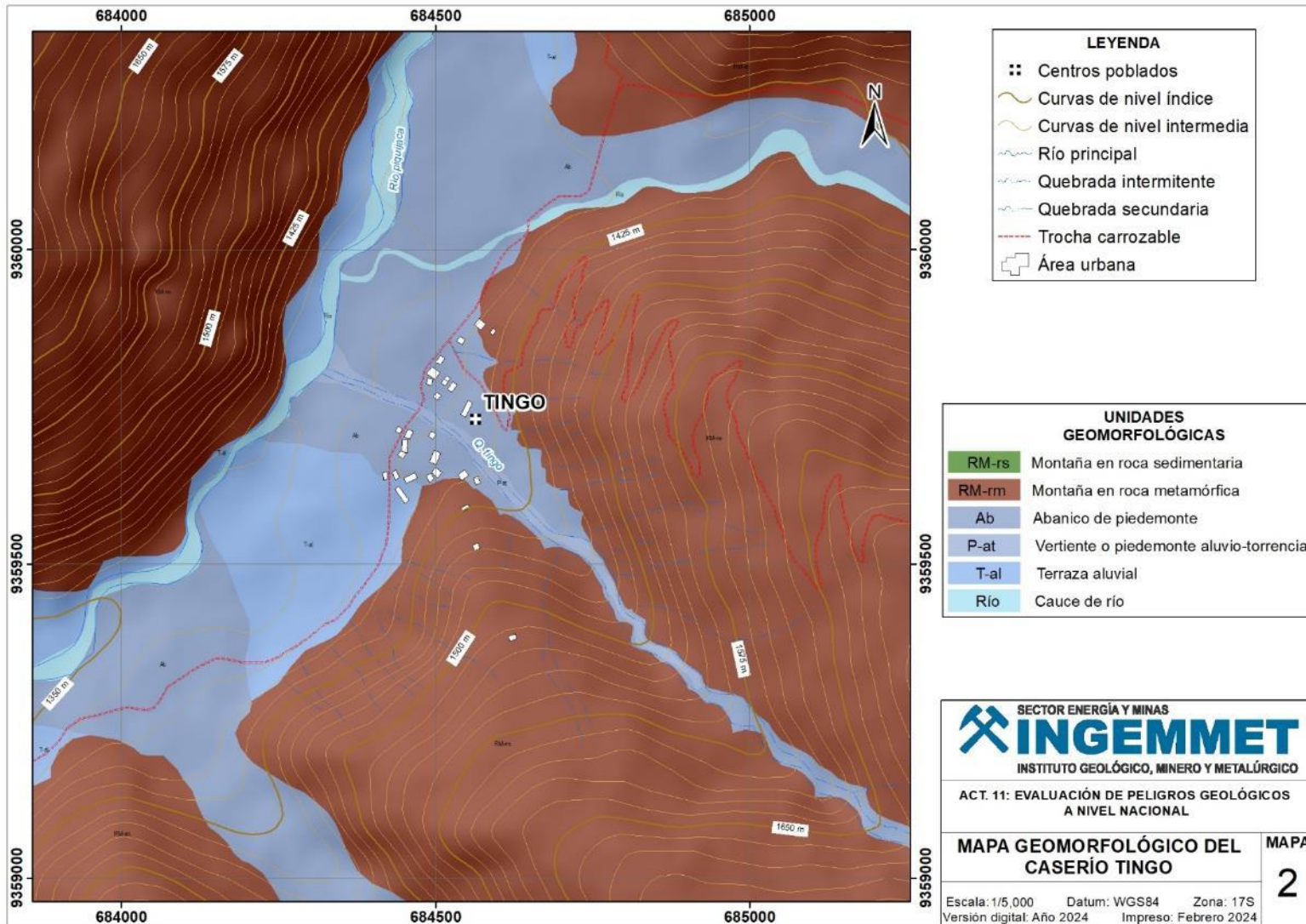
Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.

Zavala, B. & Rosado, M. (2010) - Riesgo geológico en la región Cajamarca. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 44, 396 p., 19 mapas.

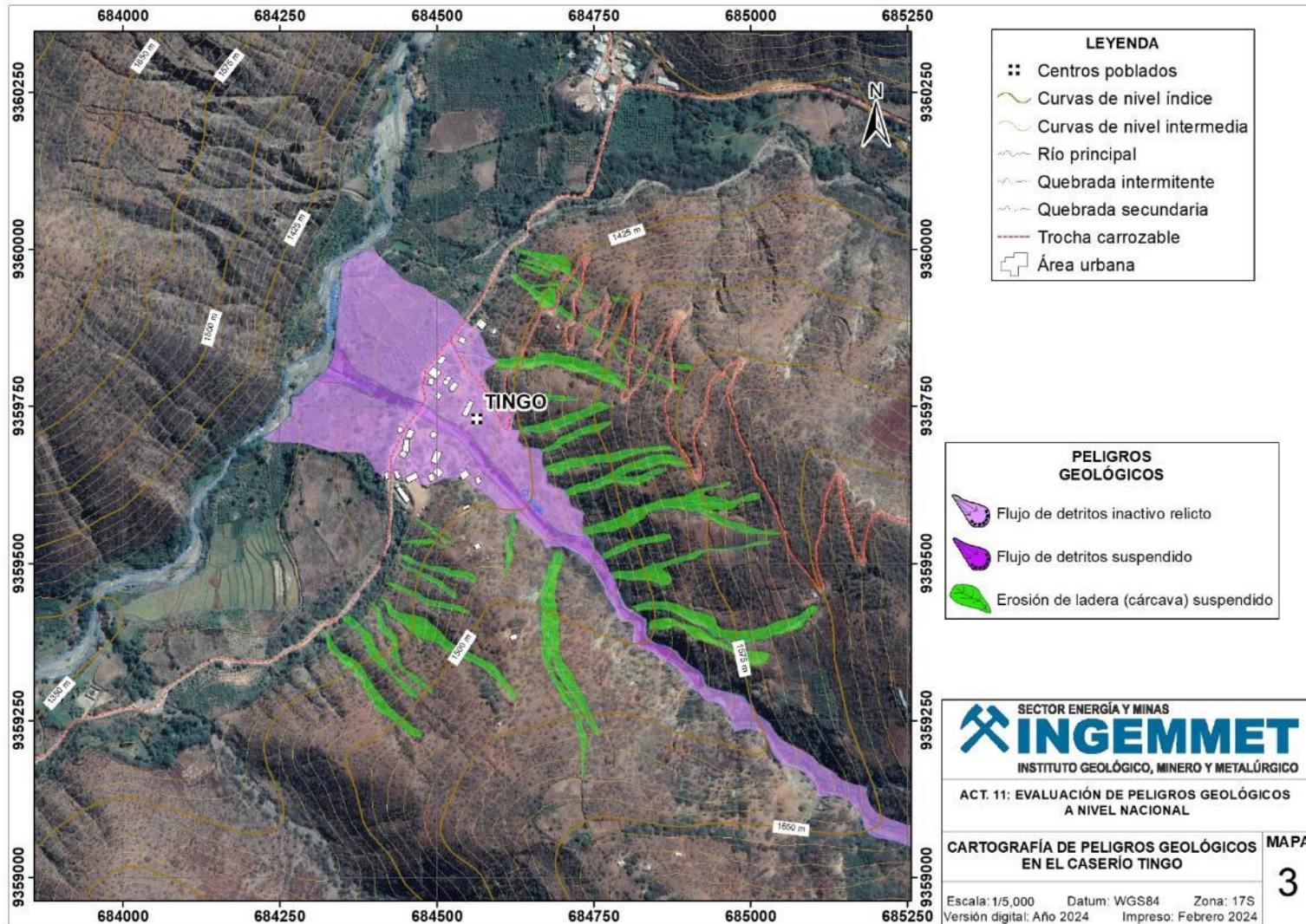
ANEXO 1: MAPAS



Mapa 1. Geología del área evaluada.



Mapa 2. Geomorfología del área evaluada.



Mapa 3. Cartografía de peligros geológicos del área evaluada.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Muros de gaviones. Los gaviones son elementos con forma de prisma rectangular que consisten en un relleno granular constituido por fragmentos de roca no degradable (caliza, andesita, granitos, etc.), retenido por una malla de alambre metálico galvanizado (figura 18).

Los muros de gaviones trabajan fundamentalmente por gravedad. Generalmente se colocan en alturas bajas, aunque algunas veces se colocan en alturas medianas (hasta 25 m de alto y 10 m de ancho) y funcionan satisfactoriamente. La relación entre la altura del muro y el ancho de la base del mismo. Las ventajas que presenta son estas:

- Instalación rápida y sencilla.
- Estructuras flexibles que admiten asentamientos diferenciales del terreno.
- Sin problemas de drenaje ya que son muy permeables.
- Los empujes sobre el muro y su estabilidad al vuelco y deslizamiento se calculan de igual forma que en el caso de un muro de gravedad.

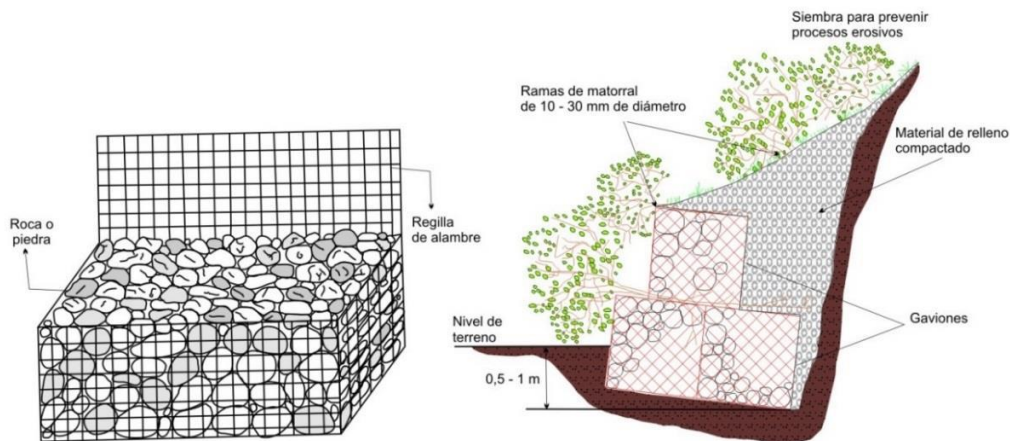


Figura 18. Rangos de pendientes que condicionan la ocurrencia de movimientos en masa.

Uso de vegetación

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

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

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

- Intercepta la lluvia

- Aumenta la capacidad de infiltración
- Extrae la humedad del suelo
- Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
- Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
- Aumentan el peso sobre el talud
- Transmiten al suelo la fuerza del viento
- Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión

Medidas estructurales para control de cárcavas

Las cárcavas son el resultado de la erosión superficial, precedida por la erosión en forma de salpicadura, laminar y en surcos; al aumentar el volumen de escorrentía o su velocidad. En muchos casos estas formas de erosión alcanzan estados de gran avance y desarrollo, de difícil control posterior.

Considerando las condiciones geomorfológicas-geológicas y los peligros geológicos evaluados se debe llevar un manejo adecuado de conservación de suelos cuyos 3 principios fundamentales son:

- Reducir la velocidad de la escorrentía que define la energía con la cual se transportan y emplazan los materiales.
- Favorecer la infiltración del agua.
- Crear cobertura vegetal.

Las medidas de prevención y mitigación son las siguientes:

- Mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales de la zona urbana del caserío Culebreros, evacuando sus aguas hacia otras quebradas.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figura 19), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Promover el desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (figuras 20, 21 y 22).
- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos. Lo recomendable es evitar todo tipo de cultivo en las laderas.
- En las partes altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.
- El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida del terreno; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.
- Realizar un monitoreo diario del movimiento de los deslizamientos y ocurrencia de derrumbes, con el fin de estar prevenidos.

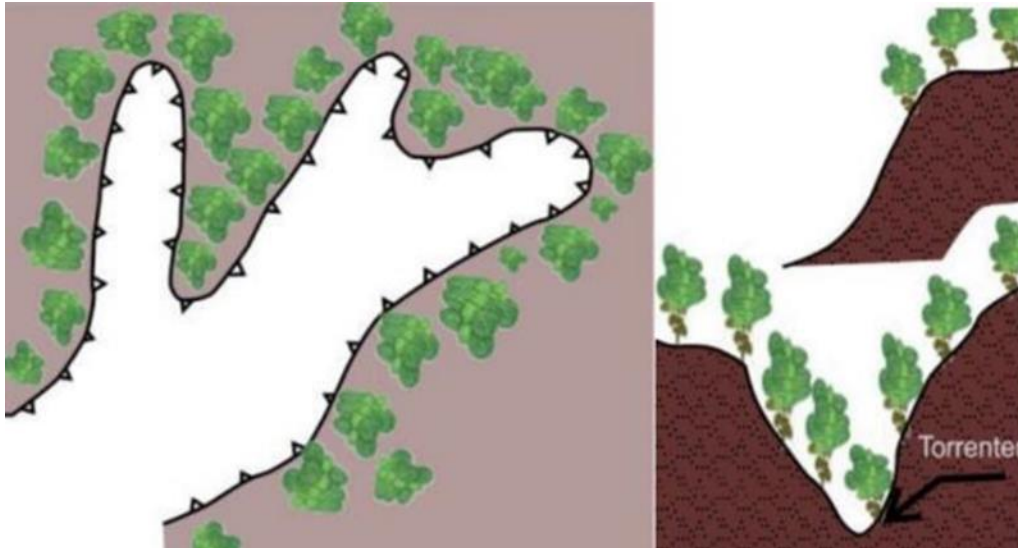


Figura 19. Vista en planta y perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

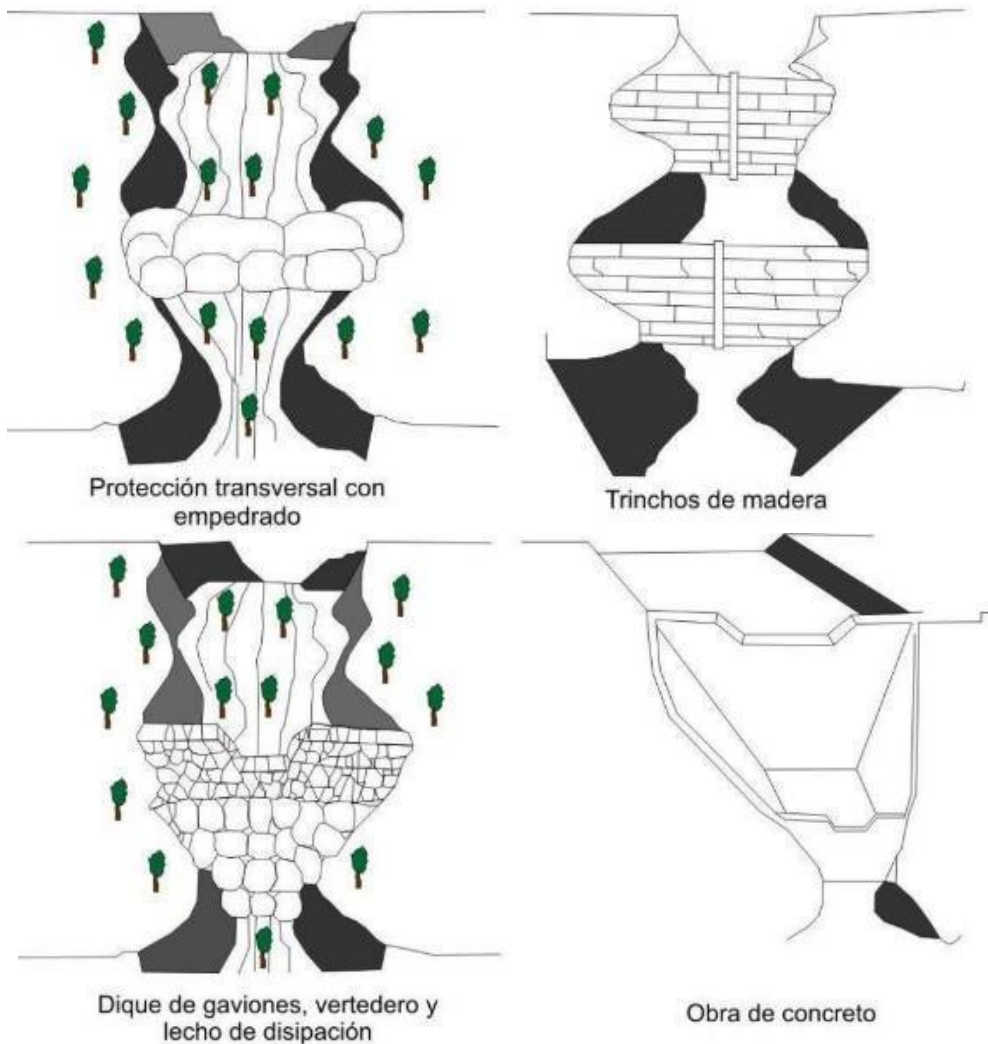


Figura 20. Obras hidráulicas transversales para el control de erosión en cárcavas.

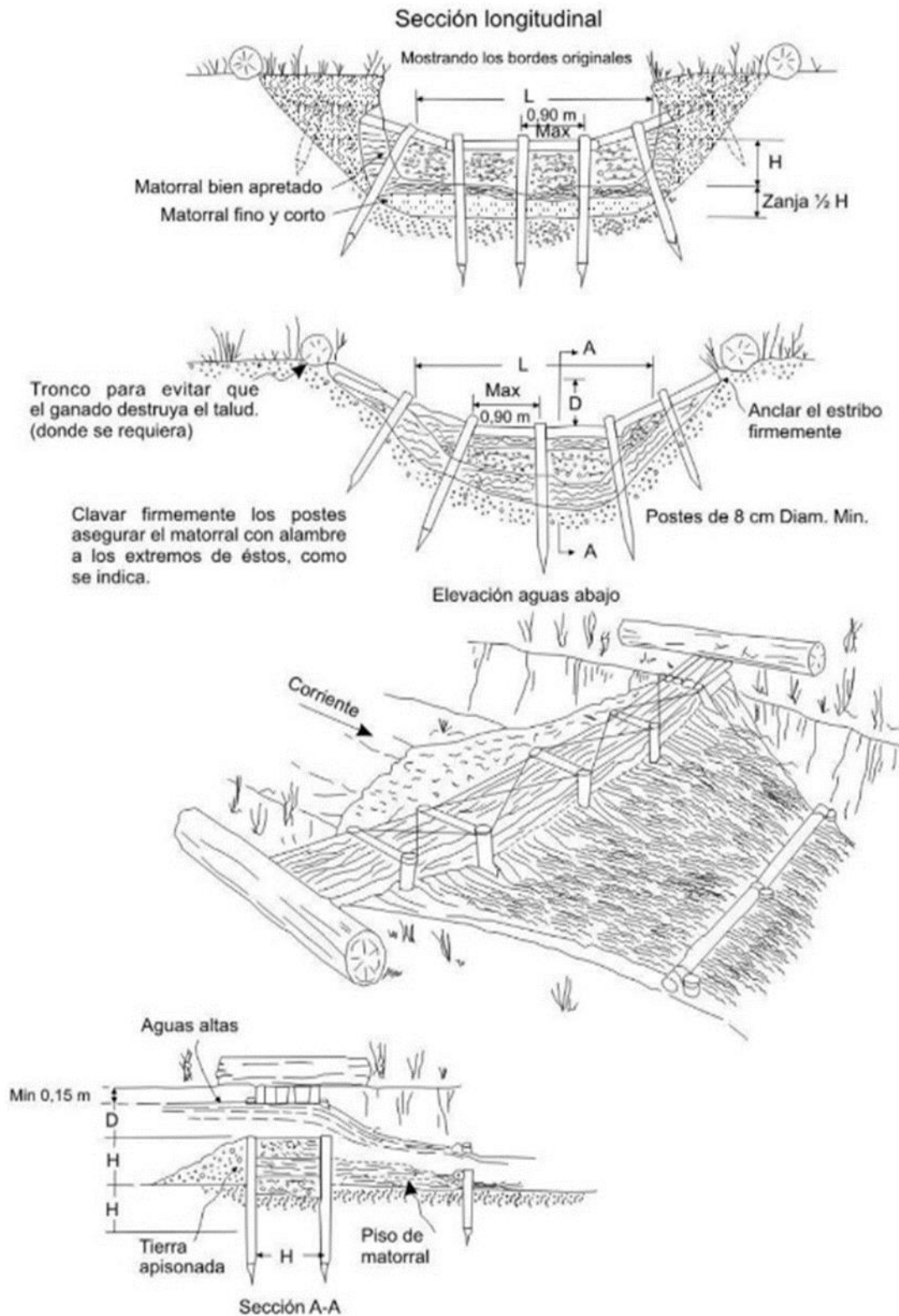


Figura 21. Presa de matorral tipo doble hilera de postes.

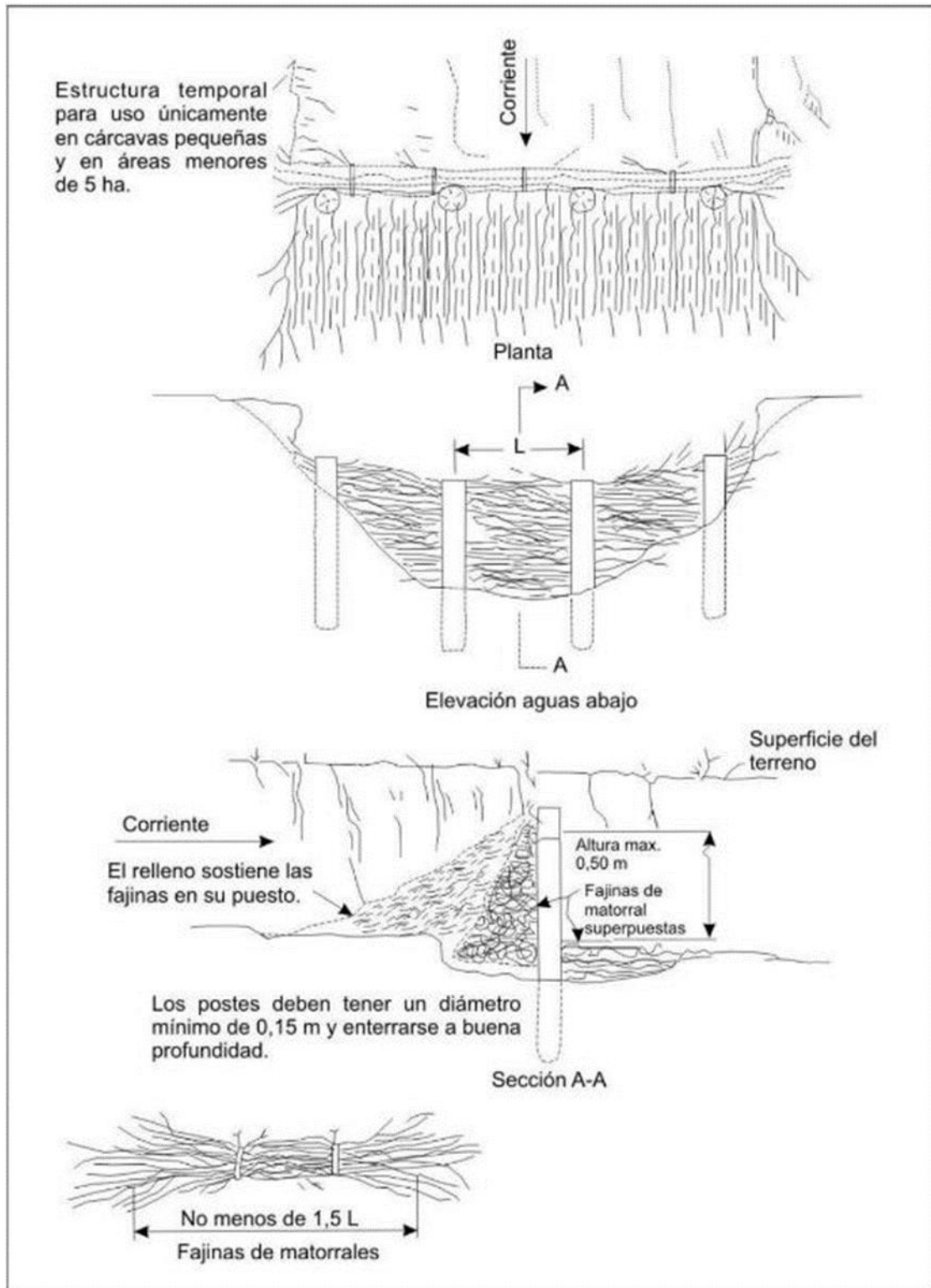


Figura 22. Presas de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).