

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7139

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR CHACAPUNTA

Región La Libertad
Provincia Gran Chimú
Distrito Luema



EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR CHACAPUNTA

Departamento La Libertad

Provincia Gran Chimú

Distrito Lucma

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

Equipo de investigación:

Gonzalo Luna Guillen

Luis Albinez Baca

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en el sector Chacapunta. Distrito de Lucma, provincia de Gran Chimú, departamento La Libertad, Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7139, 62p

INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos del estudio	4
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	4
1.3. Aspectos generales	6
1.3.1. Ubicación	6
1.3.2. Accesibilidad	8
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	10
2.1. Unidades litoestratigráficas	10
2.1.1. Formación Chimú.....	10
2.1.2. Formación Santa – Carhuaz	13
2.1.3. Depósitos Cuaternarios.....	14
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	19
3.1. Pendientes del terreno	19
3.2. Unidades geomorfológicas	22
3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	22
3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional.....	25
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	31
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	31
4.2. Deslizamiento en proceso de formación	31
4.2.1. Características visuales del deslizamiento en proceso de formación.....	35
4.2.2. Análisis de perfiles transversales del deslizamiento en formación.	37
4.2.3. Daños ocasionados por el deslizamiento en formación.....	38
4.2.4. Factores condicionantes para la ocurrencia del deslizamiento.....	39
4.2.5. Factores desencadenantes para la ocurrencia del deslizamiento	40
4.3. Erosión de laderas en el sector Chacapunta	41
4.3.1. Factores condicionantes para la ocurrencia de erosión de laderas.....	43
4.3.2. Factores desencadenantes para la ocurrencia de erosión de laderas ...	43
4.4. Flujo de detritos antiguo.	44
4.4.1. Factores condicionantes para la ocurrencia de flujo de detritos	44
4.4.2. Factores desencadenantes para la ocurrencia de flujo de detritos.....	44
4.5. Caída de rocas en la parte superior del sector de Chacapunta	44
5. CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN	48

6. CONCLUSIONES	51
7. RECOMENDACIONES	53
8. BIBLIOGRAFÍA	53
ANEXO 1: GLOSARIO	55
ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	57

RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizado en el sector Chacapunta, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital de Lucma, provincia de Gran Chimú, departamento La Libertad.

Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (municipal, regional y nacional) para la gestión del riesgo de desastres.

Geológicamente, las viviendas del caserío de Chacapunta, están asentadas sobre depósitos coluvio-deluviales no consolidados, conformados por procesos gravitacionales y flujos antiguos, compuestos por bloques de areniscas cuarzosas heterométricas de diámetros entre 0.5 y 6 m, envueltos en una matriz limo-arenosa, cohesiva, plástica, permeable y poco competente. Estos depósitos cuaternarios cubren a las formaciones Chimú y Santa-Carhuaz, son de fácil erosión

Se tienen afloramientos de la Formación Chimú conformada por areniscas altamente fracturadas y permeables de buzamientos $>45^\circ$ a favor de la pendiente. También se tiene la Formación Santa-Carhuaz, conformada por rocas lutaceas-limoarcillitas trituradas, estos afloramientos son altamente susceptibles a movimientos en masa.

Geomorfológicamente, el caserío de Chacapunta, se sitúa sobre una vertiente coluvio-deluvial de pendiente moderada a fuerte (25° - 45°), en la margen izquierda del río San Jorge, afluente del río Chicama; el caserío se ubica a pocos metros del borde superior de una ladera de pendiente muy escarpada ($>45^\circ$) de 44 m de altura.

Producto de procesos de erosión de cárcavas se han generado derrumbes y caída de rocas en la vertiente coluvio-deluvial.

En la parte inferior de la ladera escarpada, se observan planicies inundables correspondientes a terrazas bajas aluviales y fluviales, del río San Jorge que presentan pendientes suaves, entre 0° y 5° .

La vertiente donde se asienta Chacapunta, se encuentra adosada al flanco norte de la subunidad de montaña sedimentaria, conformada por areniscas cuarzosas altamente fracturadas y meteorizadas, la ladera de dicha montaña presenta pendientes muy escarpadas de hasta 75° , el buzamiento de las rocas es a favor de la pendiente (70°), lo que ayuda a la generación de caída de rocas.

En la ladera escarpada de la margen izquierda del río San Jorge, se presentan derrumbes de roca y/o suelos; la fuente de origen son los depósitos coluvio-deluviales que se encuentran en la parte superior de la ladera, los cuales se encuentran sueltos. El material puede ceder por gravedad.

En el sector de Chacapunta, se han identificado grietas tensionales con aperturas máximas de 2.5 m, longitudes máximas de 100 m y profundidades visibles de

hasta 4 m, que delimitan el cuerpo de un deslizamiento, que compromete la seguridad física de 153 m de la carretera (Lucma-Sayapullo), así como la estabilidad de las viviendas ubicadas en su área de influencia, que presentan agrietamientos en pisos y muros.

El deslizamiento en formación abarca un área de 13 580 m² y compromete un volumen estimado de 136 000 m³, cuya corona se ubica en la cota 998 m s.n.m., con una longitud de 29 m y salto vertical de 1.8 m. El pie del deslizamiento se encuentra en la base de la ladera escarpada en la cota 926 m s.n.m. haciendo una diferencia de 72 m de altura.

Por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas mencionadas anteriormente, el caserío de Chacapunta se le considera de **MUY ALTO PELIGRO**. Los eventos pueden ser desencadenados por sismos como efectos cosísmicos y precipitaciones pluviales de carácter extraordinario.

Finalmente, se brindan recomendaciones generales que se consideran importantes para que las autoridades pongan en práctica; como son: la reubicación de las viviendas de Chacapunta, el monitoreo del deslizamiento en formación y el tratamiento integral de las zonas de carcavamientos.

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 Lucma, según Oficios N° 08-2021-GRLL-GOB-GGR-GRDN-SGDC y 012-2021-MDL-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos en el sector de Chacapunta.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al ingeniero Luis Albinez y Geol. Gonzalo Luna, para realizar la evaluación de peligros geológicos, en coordinación con los representantes de la Municipalidad Distrital de Lucma. Los trabajos de campo se realizaron el 03 y 04 de marzo del 2021.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, fotografías terrestres y aéreas), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se realizó la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Lucma, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la 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 presentan en el sector de Chacapunta, eventos que pueden comprometer la seguridad física de personas, medios de vida y vías de comunicación en la zona de influencia de los eventos.
- b) Determinar los factores condicionantes y detonantes que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos publicados por Ingemmet y otras instituciones que incluyen sectores aledaños a las zonas de evaluación, desarrollados a escala local (informes técnicos) y regional (boletines).

- a) Boletín N° 50 de la serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Riesgo Geológico en la Región La Libertad” (Medina et al., 2012) Este estudio menciona que el sector de: “Cerro Los Baños”, localizado en la margen izquierda del río San Jorge, en el distrito de Lucma, provincia de Gran Chimú, ubicado a 0.5 km de sector Chacapunta, presenta erosión en cárcavas y erosión fluvial, así como zonas de derrumbe en el talud de la carretera, cuyas posibles causas se deben: al substrato rocoso de mala calidad, rocas muy fracturadas, orientación desfavorable de discontinuidades, alta pendiente del terreno, escasas de vegetación, socavamiento del pie del talud, sismos y el corte de talud para la construcción de la carretera.
- b) “Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa en la región La Libertad” a escala 1:250 000 (Medina et al., 2012). Este mapa muestra los grados de susceptibilidad a movimiento en masa en la región La Libertad, así observamos que el sector Chacapunta se encuentra dentro de una zona de alta y muy alta susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa (figura 1).
- c) Boletín N° 17, Serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de Puemape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry, y Santa”, Hojas; 16-d, 16-e, 16-f, 17e, 17-f, 18-f (Cossio & Jaén 1967). Esta publicación describe las unidades litoestratigráficas a escala 1:100 000 de la hoja de Otuzco 16f (cuadrángulo al cual pertenece el sector Chacapunta). En el sector Chacapunta, describe las unidades del Grupo Goyarisquizga, rescatando sobre todo la descripción de las formaciones Chimú y Carhuaz. Aflorantes en el área de inspección técnica.

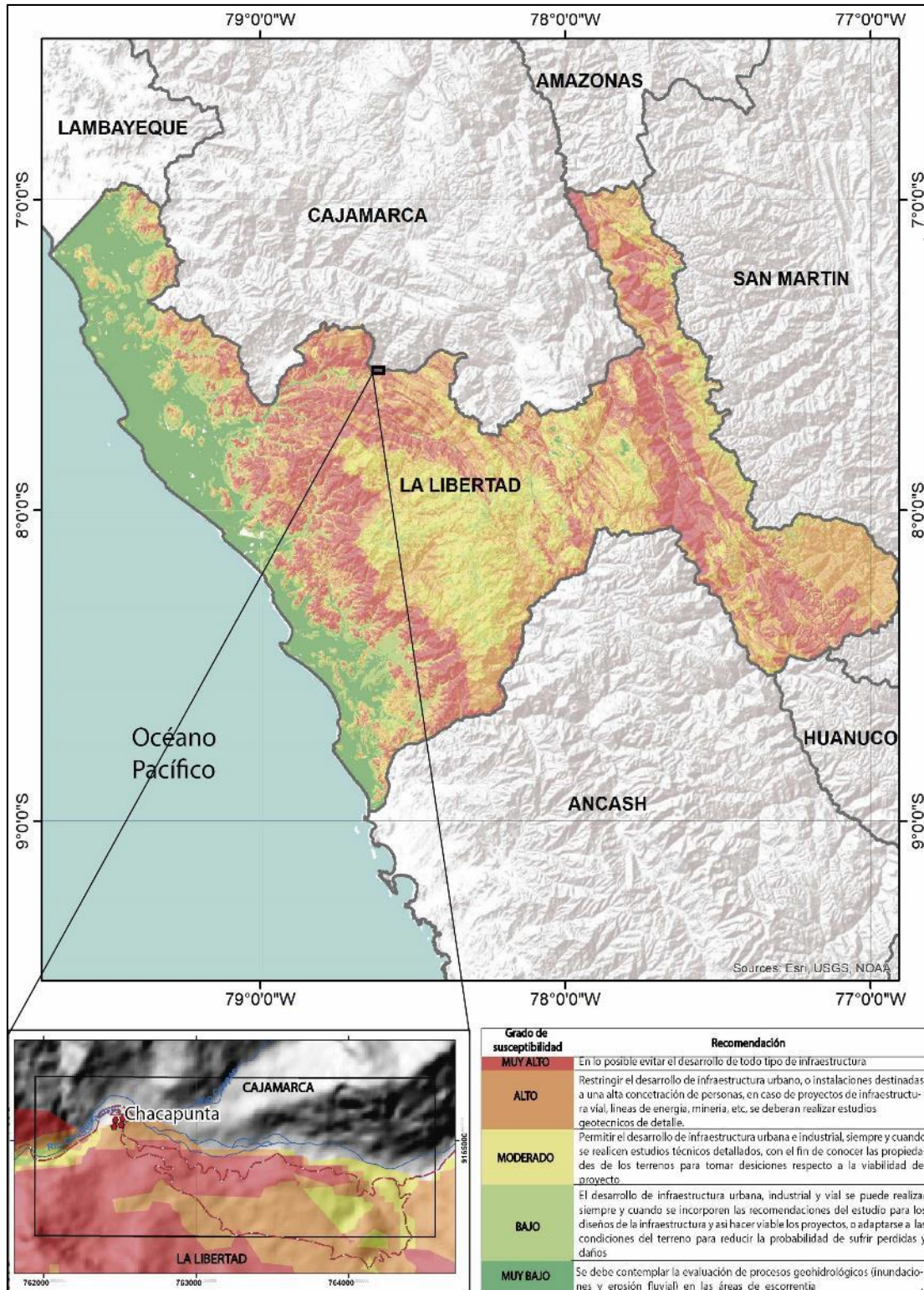


Figura 1. Mapa de: Susceptibilidad por movimientos en masa de la región La Libertad, a escala 1:250 000. Fuente (modificado de Medina et al., 2012)

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada corresponde al caserío de Chacapunta, políticamente pertenece al distrito de Lucma y provincia de Gran chimú, región La Libertad (figura 3). Geográficamente, se ubica en la margen izquierda de los ríos San Jorge y Chuquillanqui (figura 2), que son afluentes al río Chicama; el área de evaluación se ubica en las coordenadas siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio en el sector Chacapunta.

N°	UTM - WGS84 - Zona 17S		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	761961 m	9164374 m	7°33'11.79"S	78°37'33.65"O
2	761937 m	9165402 m	7°32'38.35"S	78°37'34.62"O
3	763989 m	9165358 m	7°32'39.42"S	78°36'27.71"O
4	764021 m	9164371 m	7°33'11.52"S	78°36'26.49"O
COORDENADA DEL PUNTO CENTRAL DEL ÁREA EVALUADA				
C	762630. m	9164930 m	7°32'53.58"S	78°37'11.94"O

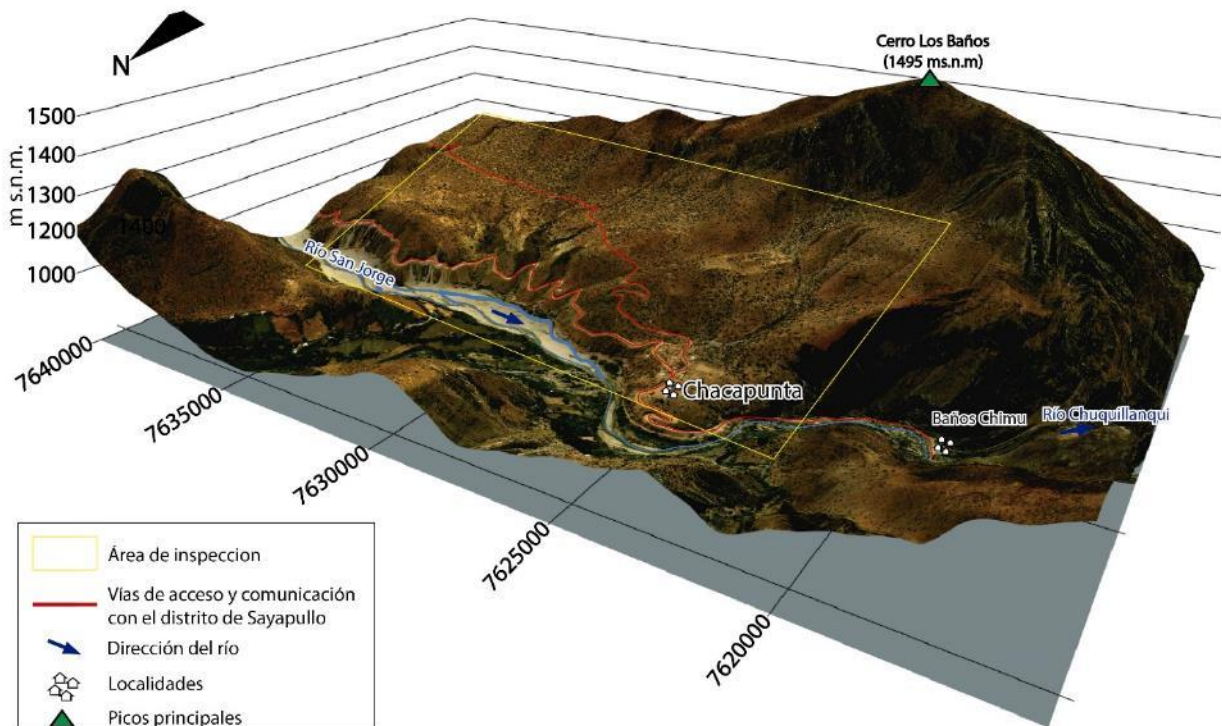


Figura 2. Vista en perspectiva 3D, del área de estudio, del sector Chacapunta.

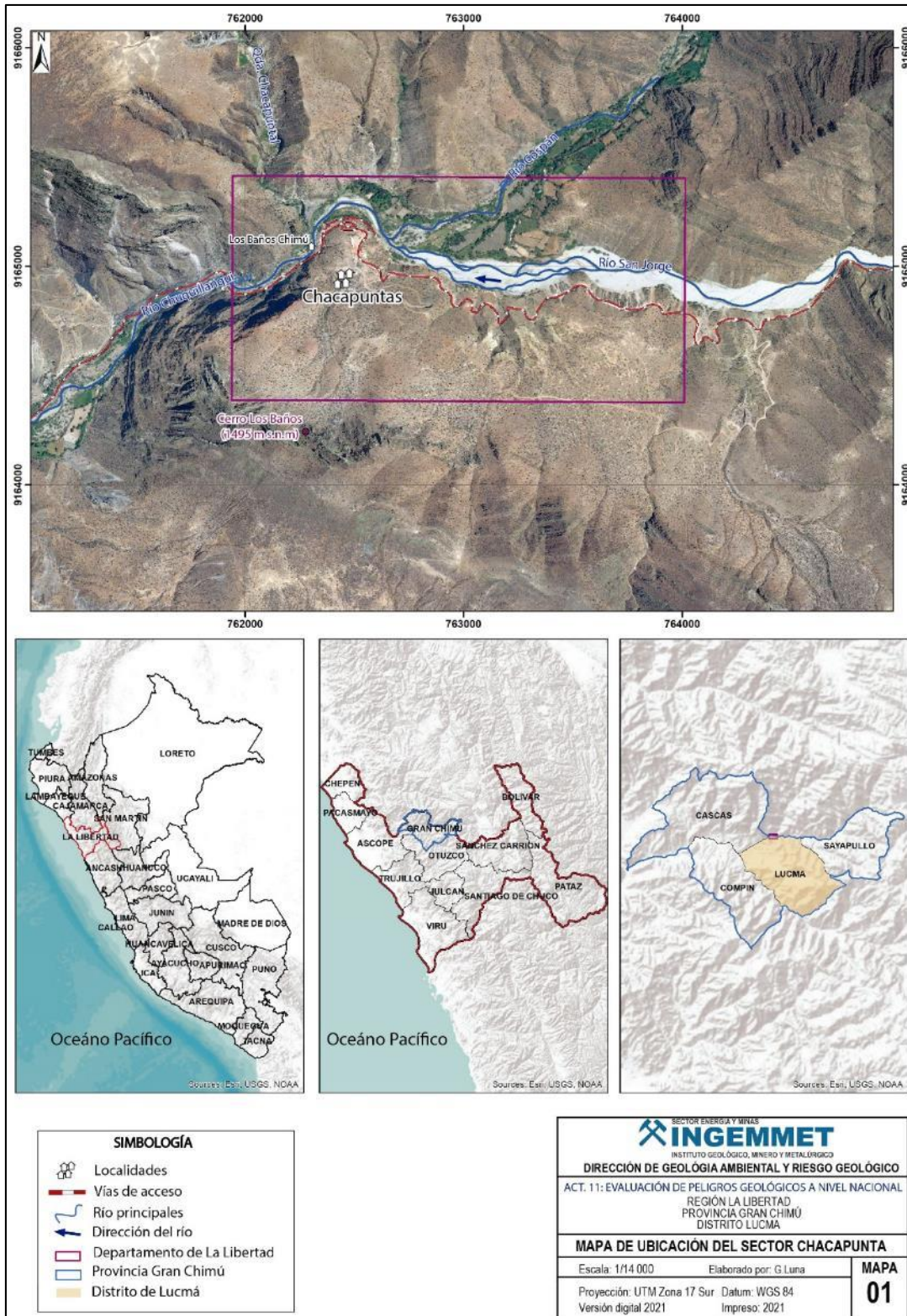


Figura 3. Mapa de ubicación del sector Chacapunta..

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realizó por vía terrestre, de la ciudad de Lima, siguiendo la ruta: Lima – Trujillo - Chacapunta (cuadro 2 y figura 4)

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Lima - Trujillo	Asfaltada	558	9 horas
Trujillo - Chacapunta	Asfaltada/trocha carrozable	150	2.5 horas

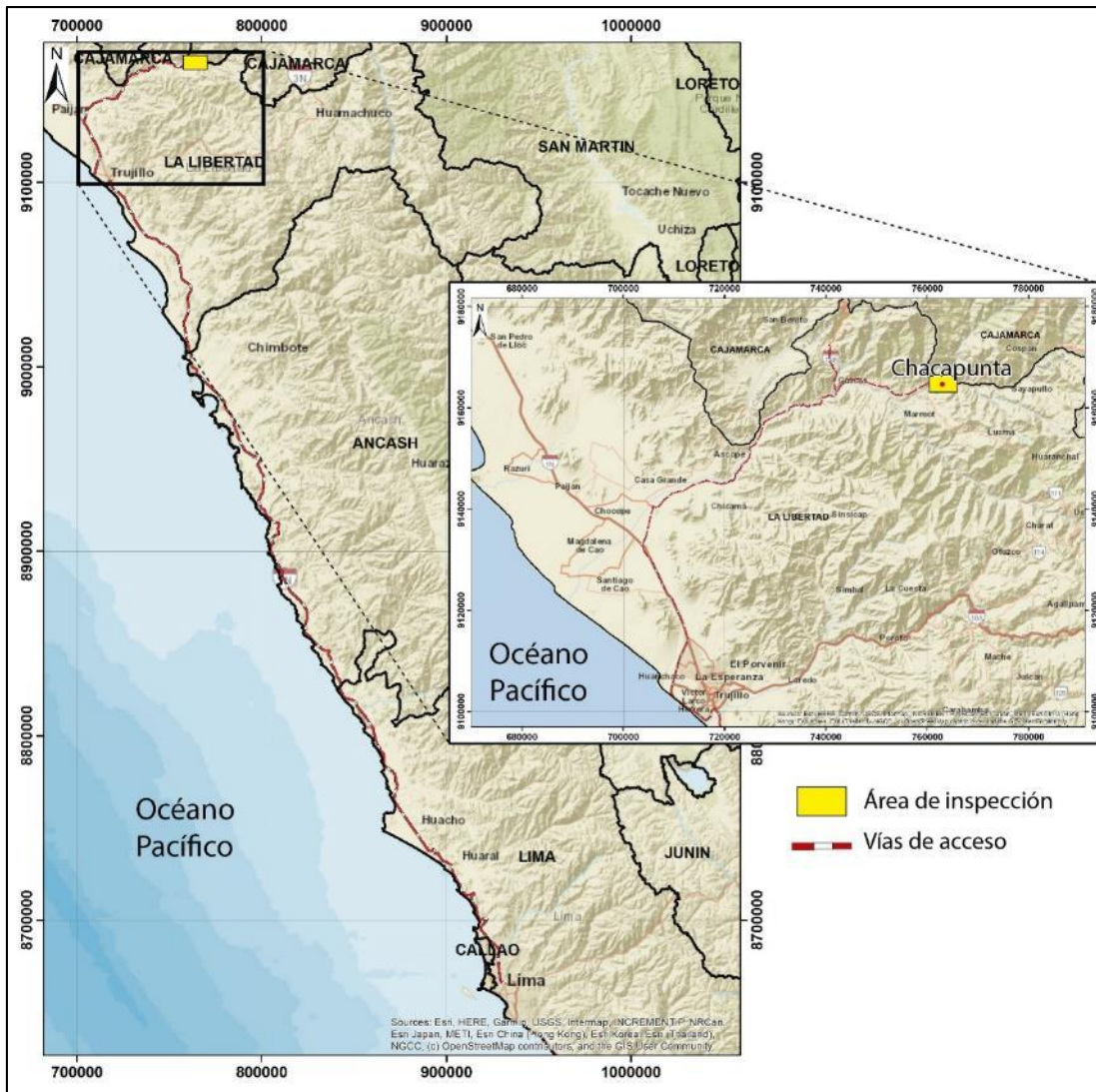


Figura 4. Mapa de accesibilidad al sector Chacapunta desde la ciudad de Lima.

1.3.3. Clima y precipitaciones pluviales

El clima en el área de estudio, corresponde a un clima templado a semiárido que cubre las vertientes occidentales y orientales andinas de la región La Libertad. En la vertiente occidental, hasta los 2500 m s.n.m., la temperatura promedio anual varía entre 14°C y 15°C, con precipitaciones entre 200 y 350 mm al año, por encima de este nivel hasta los 3500 m s.n.m., las temperaturas varían entre 8°C y 10°C, con precipitaciones entre 400 y 800 mm al año, ver figura 5. (Medina et al., 2012)

Según el Senamhi, el comportamiento de la precipitación acumulada durante el fenómeno de “El Niño de 1997-1998” excedió notablemente a sus valores normales de precipitación acumulada; principalmente en las provincias de Pataz y Gran Chimú. En el sector Chacapunta habrían alcanzado valores de 1400 mm (figura 5), este pico se habría repetido con el fenómeno de “El Niño Costero” de 2017.

Los registros de la estación meteorológica de Puente Palmira (SENAMHI), ubicada en el distrito de Cascas, para el periodo 2020-2021, muestran un incremento en las precipitaciones normales entre diciembre 2020- enero 2021 (figura 6).

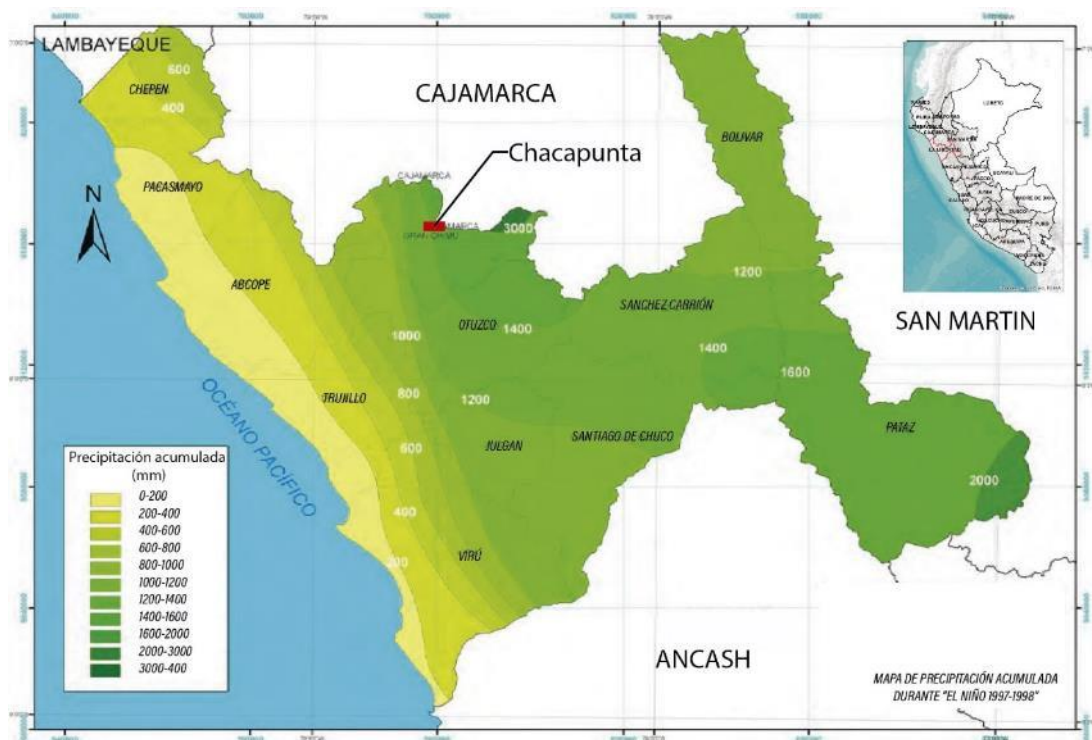


Figura 5. Mapas de isoyetas para el periodo lluvioso, con presencia del Fenómeno de El Niño 1997-1998, SENAMHI (Medina et al., 2012).

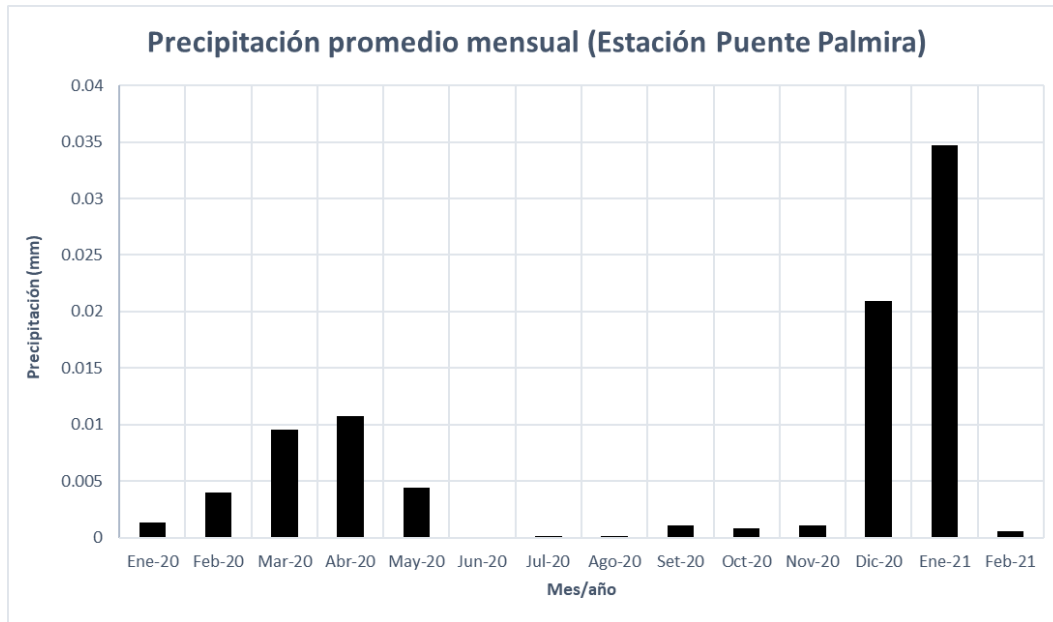


Figura 6. Registro promedio mensual acumulado de precipitaciones, registrados por la estación Puente Palmira (2020-2021), distrito de Cascas, Provincia de Gran Chimú. (Fuente: SENAMHI <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos> , consulta marzo 2021)

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio, se elaboró teniendo como base el boletín “Geología del cuadrángulo de Otuzco”16-f (Cossío y Jaén., 1967), el mapa geológico a escala 1:100 000 del cuadrángulo de Otuzco (16-f), elaborado por Cossío & Blanco, 1967, actualizado e integrado el 2017 y el mapa del cuadrángulo de Otuzco 16-f-cuadrante I, elaborado a escala 1:50 000 (Navarro et al., 2013), que describen las unidades identificadas en los trabajos de campo; además, mediante la interpretación de imágenes satelitales, ortofotos aéreas con dron y observaciones in situ, se realizó una caracterización más local (figura 15).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área inspeccionada (Chacapunta y alrededores) están compuestas mayoritariamente por rocas sedimentarias del Cretácico Inferior; correspondientes a las formaciones Carhuaz y Chimú, cubiertas por capas detríticas no consolidadas de depósitos coluviales y coluvio-deluviales. Estas unidades se describen a continuación:

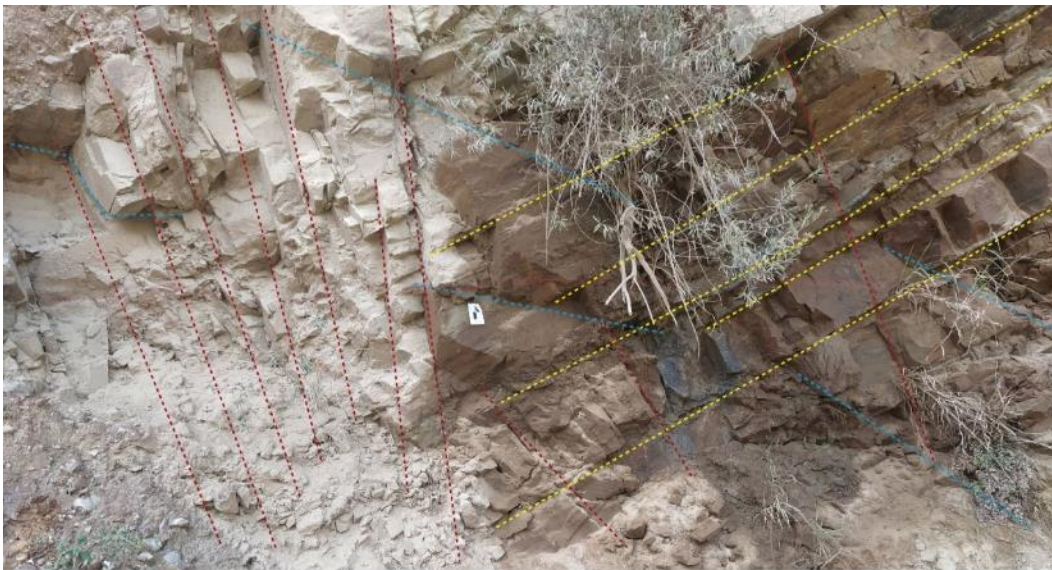
2.1.1. Formación Chimú

La Formación Chimú representa los horizontes inferiores del Cretácico. Se expone principalmente en el sector nororiental del cuadrángulo de Otuzco, donde se ubica la localidad típica: Baños Chimú; que le ha dado nombre a esta secuencia clástica. Regionalmente la Formación Chimú está constituida por

paquetes gruesos de areniscas y cuarcitas blancas, grises hasta pardas, de grano fino a grueso y de formas subredondeadas que presentan estratificaciones cruzadas, se le asigna un espesor aproximado de 1000 m (Cossío y Jaén 1967).

Localmente se han observado estratos de areniscas grises y pardas de espesores entre 0.5 y 2 m, de Rumbo N 350° y Bz: 35°NE (figura 8), aflorantes en ambas márgenes del río San Jorge. Mientras que, en la parte alta media de la margen izquierda, flanco norte del Cerro “Los Baños” se observan secuencias con buzamientos más pronunciados (70°), con fracturas a favor de la pendiente que han provocado caída de bloques (figura 9).

En general, estas areniscas se encuentran fracturadas (figura 7) con separaciones de 0.2 a 0.6 cm y moderadamente meteorizadas (menos de la mitad del afloramiento rocoso visible esta desintegrado en suelo) con buzamiento a favor de la pendiente en el sector Chacapunta. Localmente, pueden observarse más de 3 familias de fracturas, cercanas al eje de una falla inferida, la cual podría ser la estructura relacionada a las surgencias de aguas termales en el sector Baños Chimú, ubicadas al SO de Chacapunta.



- Fracturas F1- paralelas a la estratificación Rb: N350° ; Bz: 35°NE
- Fracturas F2- contrarias a la estratificación Rb: N130°; Bz: 87°SW
- Fracturas F3- paralelas al talud de la carretera Rb: N225°; Bz: 90°SW

Figura 7. Areniscas fracturadas de la Formación Chimú, afloran en el corte del talud de la carretera: Baños Chimú- Chacapunta.

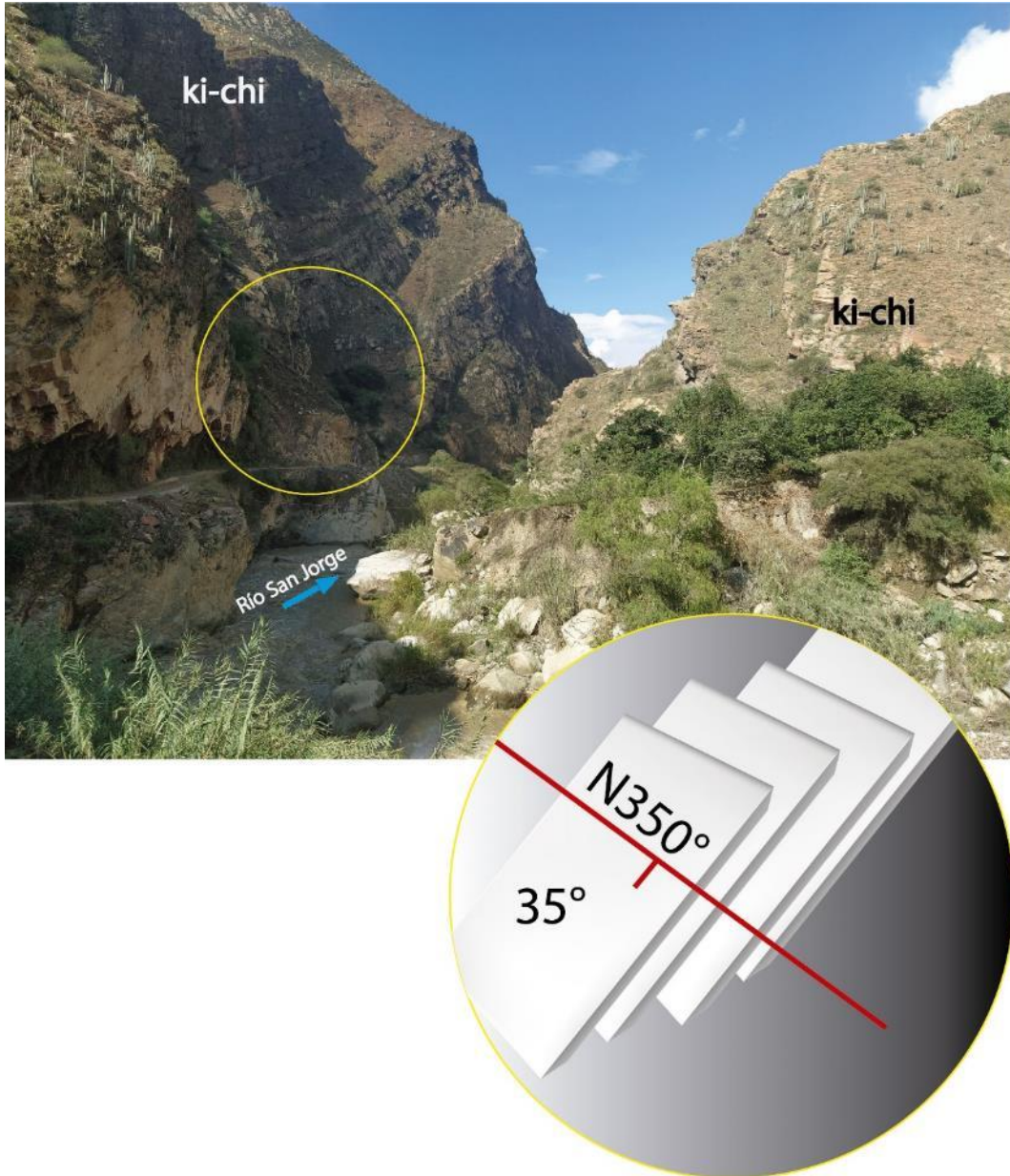


Figura 8. Se observan afloramientos de areniscas de la Formación Chimú de Rb: N350° y Bz: 35°SE, en ambas márgenes del río San Jorge a 0.8 km de Chacapunta.



Figura 9. Se observan afloramientos de areniscas de la Formación Chimú, sobre el poblado Chacapunta, en el parte superior del cerro Baños, muestra areniscas con Bz: 70°, fracturadas, que provocan caída de rocas.

2.1.2. Formación Santa – Carhuaz

En el cuadrángulo de Otuzco 16-f-1, las formaciones Santa y Carhuaz son cartografiadas conjuntamente, debido a su escaso grosor y similitud litológica.

Regionalmente está compuesta por una gruesa secuencia de lutitas arenosas pardo rojizas, estratificadas en lechos delgados, contiene intercalaciones de limolitas marrón rojizas, en capas gruesas y medianas y lechos de cuarcitas pardo grisáceas con tonos rojizos por intemperismo (Cossío y Jaén 1967).

Localmente se han observado, secuencias de lutitas marrones, pardas y rojizas en la margen izquierda del río San Jorge, en la ladera inferior sobre la cual se ubica el sector Chacapunta, Estas lutitas están altamente fracturadas, casi trituradas, presentan evidencias de alteración (oxidación y argilización) y están cubiertos por depósitos coluviales de derrumbes y caídas de rocas (figura 10).

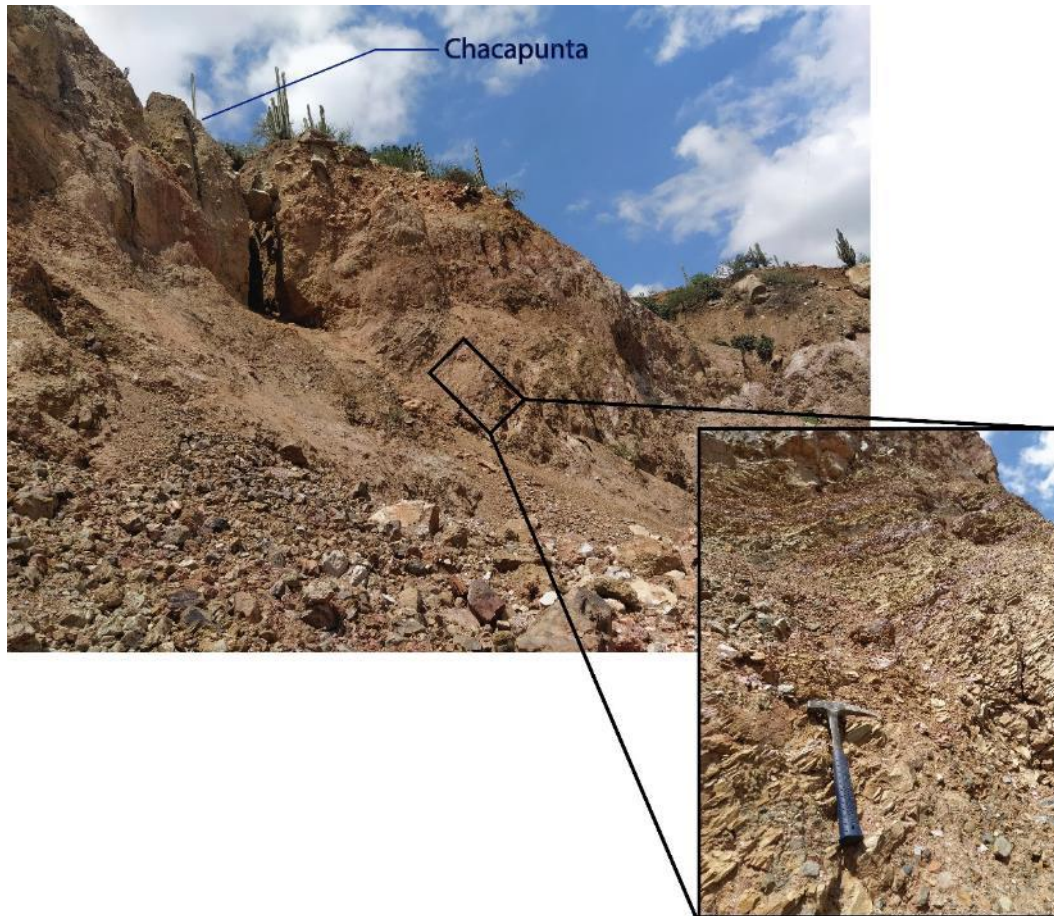


Figura 10. Se observan afloramientos de lutitas marrón, rojizas y pardas de la Formación Santa-Carhuaz, cubiertas por depósitos coluviales.

2.1.3. Depósitos cuaternarios

- Depósitos aluviales (Qh-al):
Los depósitos aluviales son fragmentos rocosos heterométricos (arenas, cantas y bolos) transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de valles y depositados en forma de terrazas (Tinta, 2018)

En el sector Chacapunta se han identificado depósitos aluviales semiconsolidados, erosionados por el cauce actual del río San Jorge, estos depósitos corresponden a una mezcla heterogénea de bolones, gravas y arenas, redondeadas a subredondeadas, en una matriz limoarcillosa, su permeabilidad es alta, se asocian principalmente a planicies aluviales (terrazas altas y bajas) en ambas márgenes del río y son susceptibles a erosión fluvial (figura 11).
- Depósitos fluviales (Qh-fl): Los depósitos fluviales lo constituyen materiales ubicados en el cauce o lecho de los ríos, o quebradas, terrazas bajas inundables y llanuras de inundación (Vílchez et al., 2019).

Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosos-limosa, ubicadas en los extremos y cauce del río San Jorge, están inconsolidados, son fácilmente removibles y de alta permeabilidad (figura 11 y 12).

- Depósito proluvial (Qh-pl): Estos depósitos se encuentran formando conos deyectivos o abanicos, Se originan a partir de la existencia de material detrítico suelto acumulado que, al producirse precipitaciones pluviales intensas, se saturan pierden estabilidad y se movilizan torrente abajo por las quebradas (Vílchez et al., 2019).
En el área de evaluación están constituidos por materiales heterométricos detríticos, mal clasificados subangulosos a subredondeados de origen sedimentario, englobados en una matriz fina, permeable, se observan en las quebradas que desciende desde el cerro Lo Baños hasta el sector Chacapunta y en las quebradas y zonas de cárcavas al este de Chacapunta (figura 14).
- Depósitos Coluviales (Qh-co): Son depósitos producto de la acumulación de caídas y derrumbes, su fuente es de origen cercana y están conformados por materiales gruesos de naturaleza heterogénea, mezclados con materiales finos como arena, limo y arcillas altamente plásticos y cohesivos (Medina et al., 2012).
En el área de estudio se presentan en la ladera de la margen izquierda del río San Jorge, producto de derrumbes y caída de bloques de más de 6 m de diámetro, sus depósitos forman conos de detritos al pie de la ladera, Las viviendas del caserío de Chacapunta se ubican en el borde superior de esta ladera (figura 13 y 14).
- Depósitos Coluvio-deluviales (Qh-cd): Esta unidad agrupa depósitos de piedemonte de diferente origen (gravitacional y flujo gravitacional) que se acumulan en vertientes o márgenes de los valles, estos depósitos se encuentran interestratificados y no se puede diferenciar uno de otro (Vílchez et al., 2019).
Las viviendas del sector Chacapunta, se ubican sobre este tipo de depósitos, conformado por bloques de 0.5 a 5 m de diámetro, son de origen sedimentario (areniscas cuarzosas), envueltas en una matriz limoarcillosa no consolidada, de alta plasticidad, alta cohesión y poco competentes, este depósito, es altamente erosionable, evidencia de esto son los carcavamientos que se presentan en todo el cuerpo coluvio deluvial (figura 12 y 15).



Figura 11. Obsérvese los depósitos coluviales (Qh-co), formando talus de detritos en la margen izquierda del río San Jorge. En la margen izquierda y derecha se observan depósitos aluviales y fluviales, producto de la dinámica fluvial.

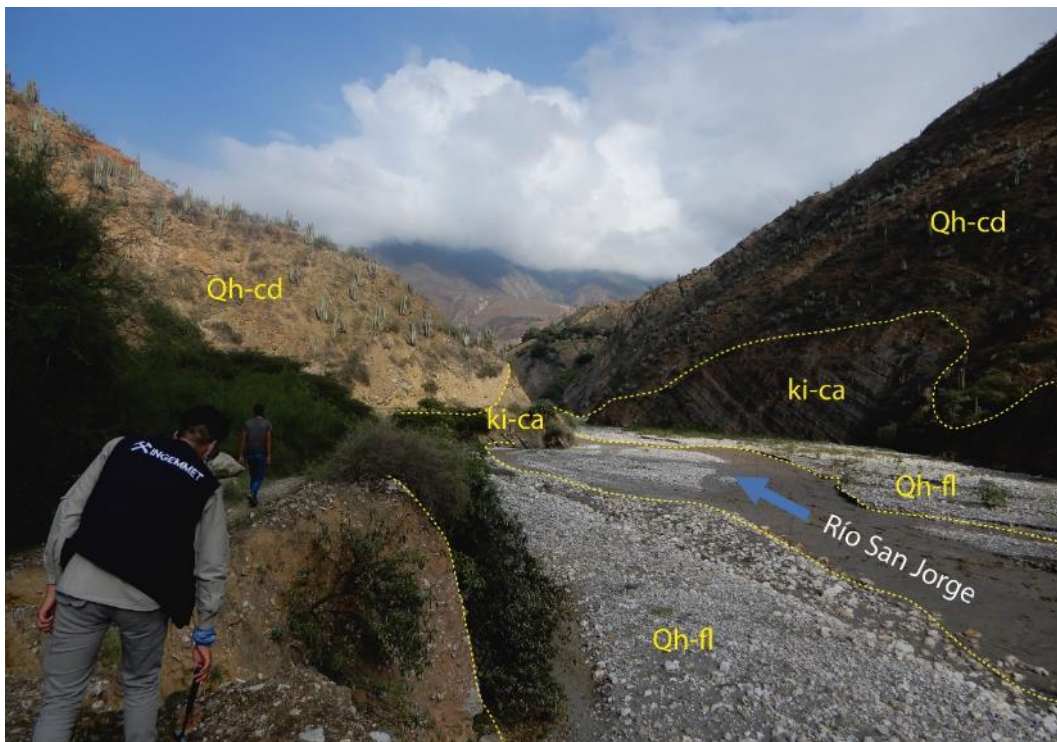


Figura 12. Se observan depósitos fluviales, en ambas márgenes del río San Jorge, en contacto con afloramientos de la Formación Carhuaz, cubiertos por depósitos coluvio-deluviales.



Figura 13. Se observan afloramientos coluviales en contacto erosivo con areniscas estratificadas de la Formación Chimú, en la parte inferior de la ladera sobre la cual se ubica el poblado de Chacapunta.



Figura 14. Se observan depósitos proluviales en las quebradas al este del sector Chacapunta.

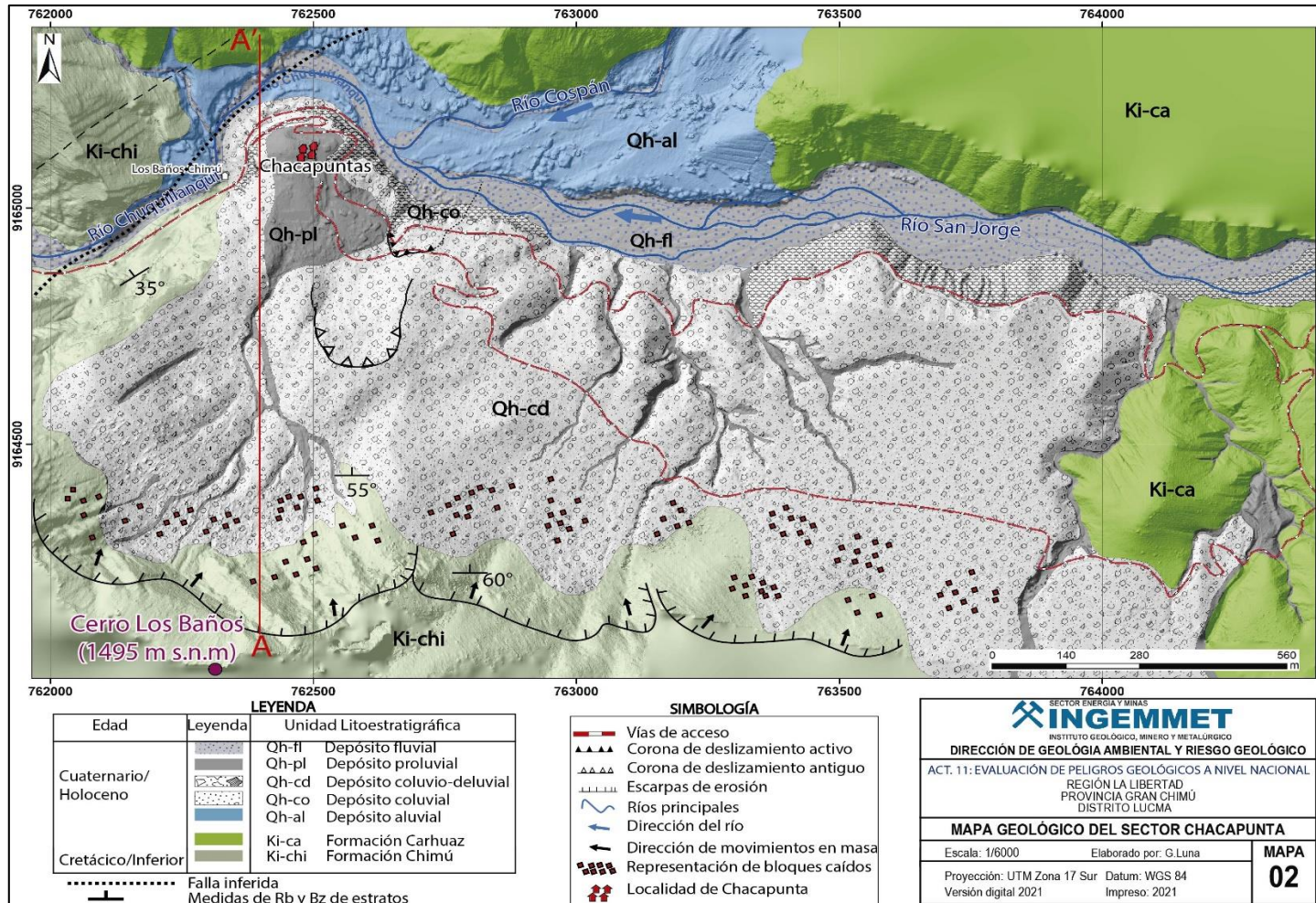


Figura 15. Mapa Geológicos del sector Chacapunta (modificado de Navarro et al., 2013; escala 1:50 000).

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

El rango de pendiente en el área de evaluación es variable esta se representó a través de un modelo digital del terreno obtenido con dron, clasificándola en 6 rangos (llana, suave, moderada, fuerte, escarpada y muy escarpada), la cual se resumen en la figura 18. El mismo DEM, fue usado para elaborar el mapa de elevaciones del sector Chacapunta (figura 17).

En el cauce del río se observan terrenos con pendientes llanas a suaves (0° - 1°), mientras que las terrazas bajas y altas aluviales de las márgenes del río presentan pendientes suaves (1° - 5°).

La ladera del depósito coluvio-deluvial sobre la cual se encuentra el sector de Chacapunta (margen izquierdo del río San Jorge) presenta pendientes escarpadas a muy escarpadas entre las cotas 922 y 966 m s.n.m. (44 m de altura); lo que ha favorecido la ocurrencia de derrumbes y caída de rocas en este sector.

Las zonas de carcavamientos dentro del cuerpo coluvial presentan pendientes escarpadas a muy escarpadas producto del proceso de erosión lateral.

De la cota 966 m s.n.m hasta la cota 1200 m s.n.m; de la vertiente coluvio-deluvial de la margen izquierda del río; la pendiente varia de moderada a fuerte (5° - 25°), en este sector se asientan las viviendas del caserío de Chacapunta.

En la margen izquierda desde la cota 1200 m s.n.m., donde se observa el contacto superior entre el depósito coluvio-deluvial y los afloramientos rocosos de la Formación Chimú, la pendiente es muy escarpada (25° - 45°), lo que ha favorecido la ocurrencia de caída de bloques.



Figura 16. Pendientes promedio en el sector Chacapunta.

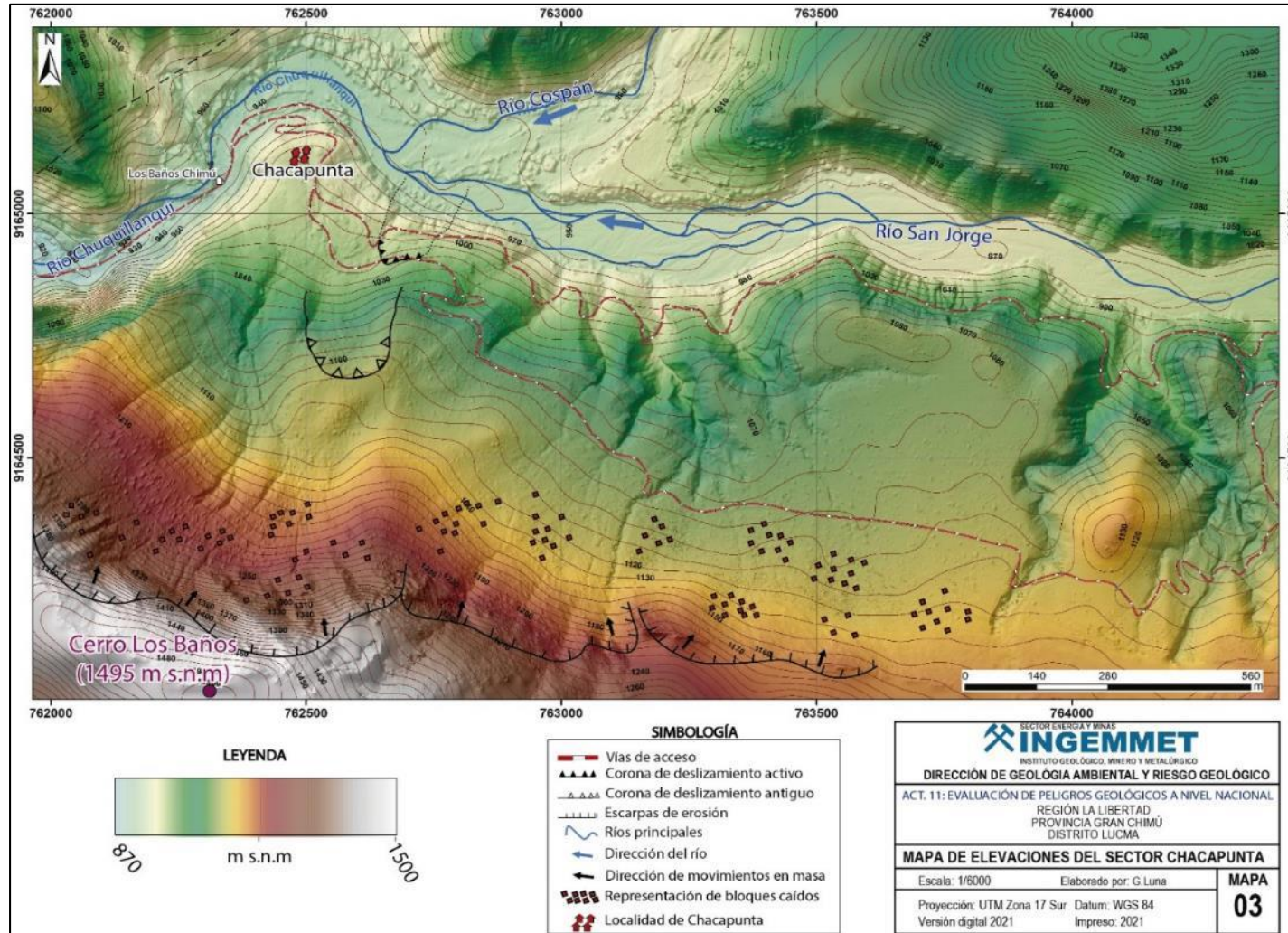


Figura 17. Mapa de elevaciones del sector Chacapunta, en base a un DEM de 0.44 m/px, generado a partir de ortofotos con drone.

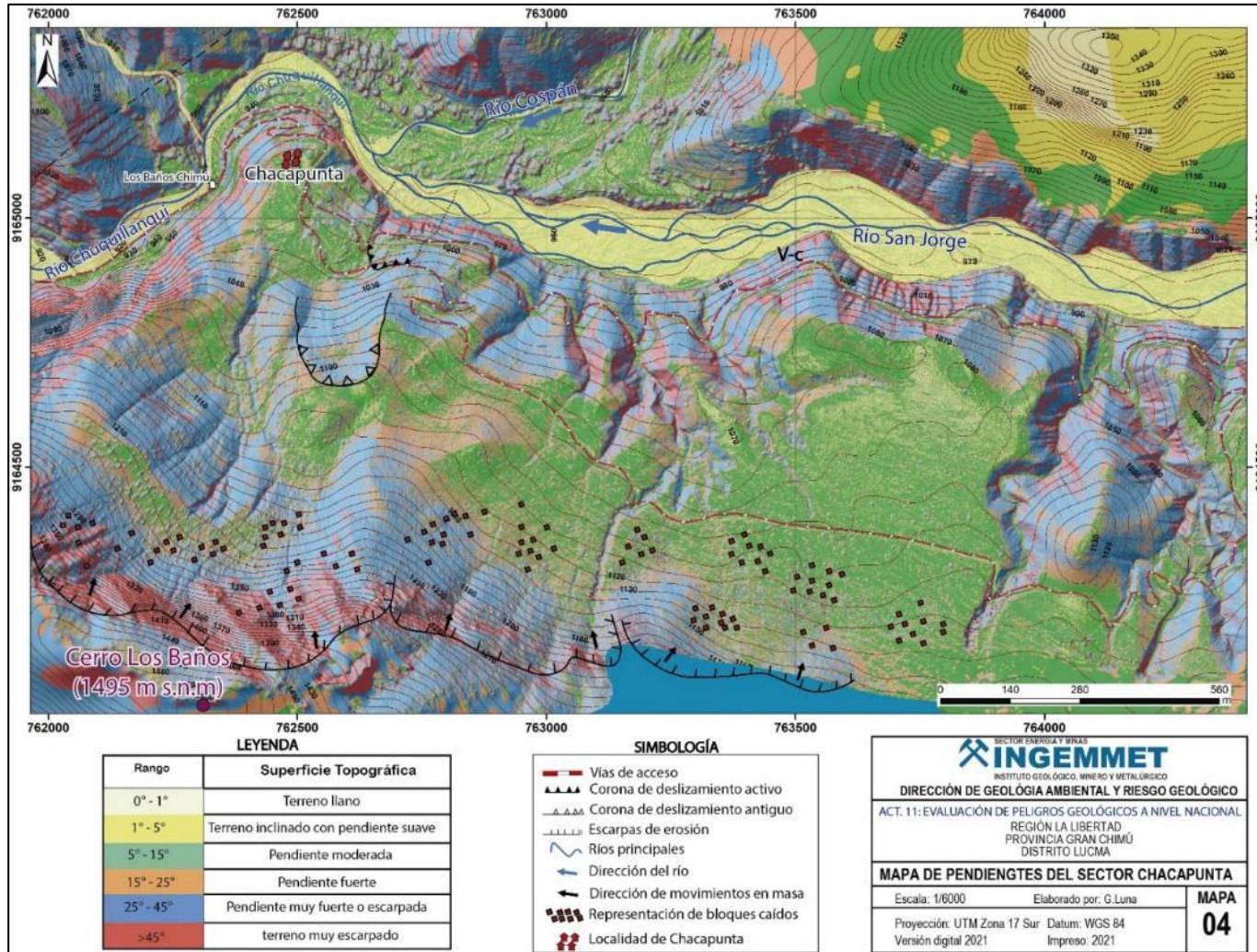


Figura 18. Mapa de Pendientes del sector Chacapunta, en base a un DEM de 0.44 m/px, generado a partir de ortofotos con drone.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la clasificación y caracterización de las unidades geomorfológicas en el sector Chacapunta, se utilizaron las publicaciones de Villota (2005) y los estudios del Ingemmet; cuyas concepciones consideran el efecto de los procesos morfodinámicos (degradacionales o denudativos y agradacionales o deposicionales), en la evolución del relieve.

Geomorfológicamente, el área ocupada por sector Chacapunta, se sitúa sobre una vertiente coluvio-deluvial, que presenta una ladera de aproximadamente 44 m de altura, de pendiente muy escarpada, al pie del cual, se depositan conos de detritos producto de derrumbes y caída de rocas, ubicada en la margen izquierda del río San Jorge.

La vertiente coluvio-deluvial sobre la que se asientan las viviendas del caserío Chacapunta, se encuentra limitada hacia el norte por terrazas aluviales bajas y terrazas fluviales; hacia el sur se observan montañas estructurales sedimentarias lateralmente se pueden observar procesos de carcavamientos considerables y algunas colinas en roca sedimentaria.

Las unidades geomorfológicas se describen a continuación y se representan en el mapa de la figura 29:

3.2.1. 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 del relieve, a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local (río San Jorge); diferenciándose las subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

Esta unidad geomorfológica conforma alineamientos alargados de dirección andina, disectadas por el río San Jorge y quebradas secundarias:

Subunidad de montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs)

Su asociación litológica es principalmente sedimentaria; compuesta mayoritariamente por areniscas cuarzosas intercaladas con limoarcillitas marrones y pardas de las formaciones Chimú y Carhuaz. (figura 19).

Estructuralmente estas montañas están relacionadas al flanco norte del sinclinal "El Porvenir", cuyo eje principal se ubica a 1.3 km del sector Chacapunta.

3.2.1.2. Unidad de Colina

Estas geoformas presentan menor altura que una montaña (menos de 300 metros desde el nivel base local). Divergen en todas las direcciones, a partir de una cima relativamente estrecha, con una base aproximadamente circular (Vilches et al., 2019).

Subunidad colina en roca sedimentaria (RC-rs)

En la zona de estudio, se presentan como elevaciones del terreno de 140 m de altura aproximadamente, conformadas por rocas sedimentarias de la Formación Carhuaz. Al extremo este, se diferencia una colina con morfología de cima aguda, de pendientes fuertes a escarpadas, limitada entre cárcavas retrogresivas de longitudes mayores a 900 m, desde el cauce del río San Jorge hacia el norte (figura 20 y 21).



Figura 19. Se observa la montaña estructural en roca sedimentaria (RME-rs), en contacto con la vertiente coluvio deluvial (V-cd), al sur del poblado de Chacapunta.

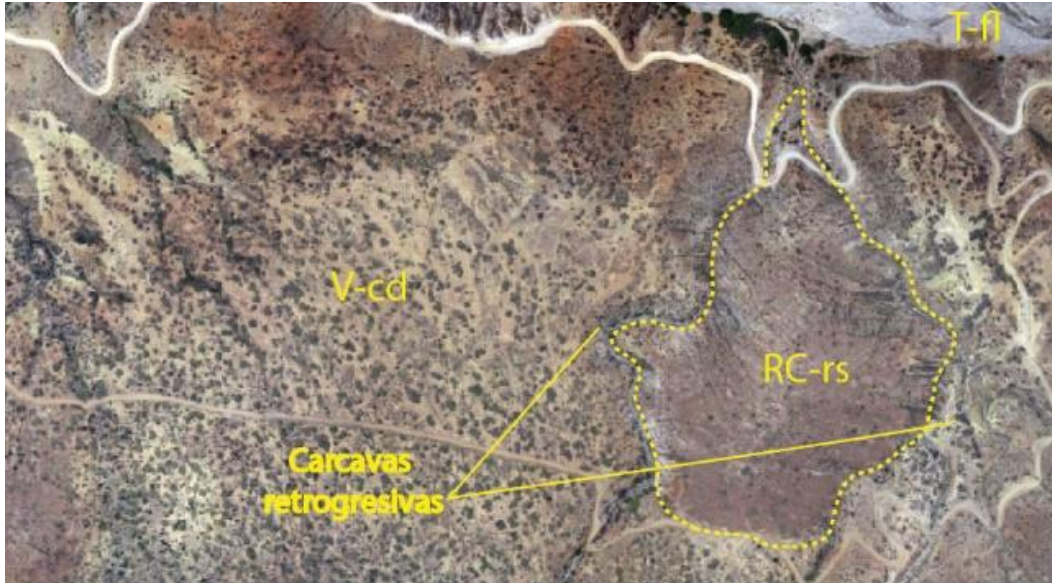


Figura 20. Vista aérea de la colina en roca sedimentaria (RC-rs), ubicada al este del poblado de Chacapunta, delimitada lateralmente por dos cárcavas retrogresivas.



Figura 21. Se observa la colina en roca sedimentaria (RC-rs), ubicada al este del poblado de Chacapunta.

3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas de carácter tectónico degradacional (Villota, 2005), aquí se tiene:

3.2.2.1. Unidad de piedemonte

Subunidad vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)

Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019).

Ocupa la mayor extensión del área de estudio (1.28 km²). Ubicada en la margen izquierda del río San Jorge, es sobre esta subunidad que se asientan las viviendas del caserío de Chacapunta. Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presenta una pendiente moderada (5°-15°). Geodinámicamente este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos, reptación de suelos y flujo de detritos (huaicos). Ver figuras 22 y 23.



Figura 22. Se observa la vertiente coluvio-deluvial, en la margen izquierda del río San Jorge, sobre el que se asientan las viviendas del sector Chacapunta.

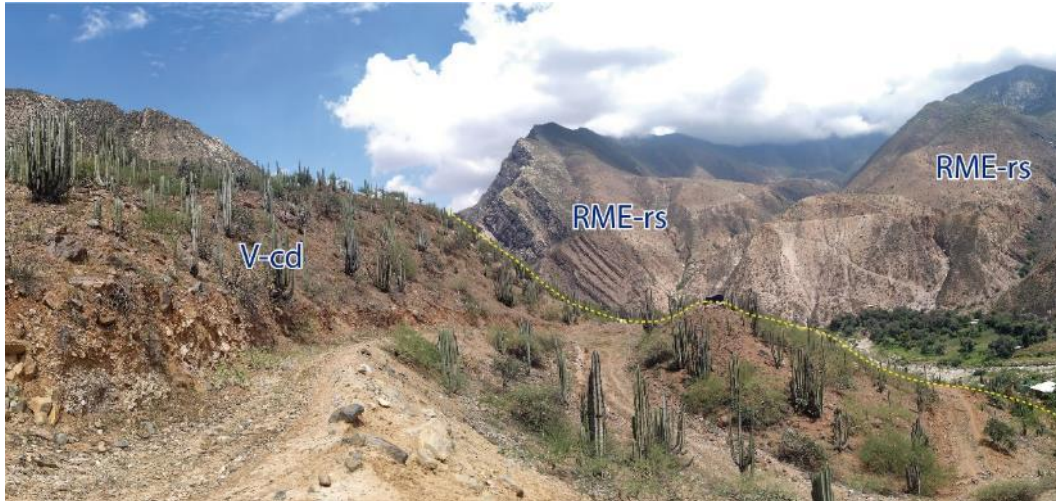


Figura 23. Se observa la vertiente coluvio-deluvial (zona media), en la margen izquierda del río San Jorge, sobre el que se asientan las viviendas del sector Chacapunta.

Subunidad vertiente o piedemonte coluvio- (V-c)

Esta subunidad se ha identificado en la base de la ladera escarpada de 44 m de altura de la vertiente coluvio-deluvial anteriormente descrita. Se encuentra conformada por bloques rocosos heterométricos, de naturaleza litológica heterogénea constituidos por bloques de areniscas, lutitas y limo-arcillitas, conforma conos de detritos (talus) sueltos poco estables, sin cohesión, fueron originados por procesos erosivos de la ladera, derrumbes, caída de bloques y vuelcos (figura 24).



Figura 24. Se observa el cono de detritos de la vertiente coluvial, en la margen izquierda del río San Jorge, generado por derrumbes y caída de bloques.

Subunidad vertiente o piedemonte aluvial- (V-al)

Es una subunidad ligeramente inclinada y extendida, posicionada al pie de estibaciones andinas o sistemas montañosos. Está conformada por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales o excepcionales, que pueden formar abanicos (Vílchez et al., 2019).

En el área de evaluación, esta subunidad se identifica en la margen derecha del río San Jorge, en las quebradas aledañas al río Cospán, también se puede identificar sobre el depósito coluvio deluvial sobre el que se asienta, el caserío de Chacapunta, producto de flujos de detritos (huaicos) antiguos desencadenados por precipitaciones extraordinarias.



Figura 25. Se observan vertientes aluviales en ambas márgenes del río San Jorge.

3.2.2.2. Planicies

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya sea que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras, y están determinadas por una acción prolongada de los procesos denudacionales. (Vílchez et al., 2019).

Subunidad de terraza alta aluvial (Ta-al)

Subunidad que corresponde a los niveles más antiguos de terrazas aluviales localizadas a cierta distancia y por encima del curso actual de los ríos. Geodinámicamente esta subunidad se encuentra asociada a procesos de erosión fluvial, cuando el río recupera cursos fluviales antiguos (Vílchez et al., 2019).

Esta unidad se observa en ambas márgenes del río San Jorge, tiene una altura de 3 m, aproximadamente, medido desde el cauce del río, su pendiente es suave (1°-5°). Está conformado por depósitos de gravas redondeadas a subredondeadas envueltas en una matriz limo-arenosa y sobre ella se desarrollan

actividades de agricultura (figuras 26 y 27). Geodinámicamente es susceptible a procesos de erosión fluvial.

Subunidad de terraza baja aluvial (Tb-al)

Son porciones del terreno que se encuentran dispuestos a los lados de llanuras de inundación y el lecho principal de los ríos San Jorge y Cospán. Son de menor altura que las terrazas altas, están conformados por depósitos fluviales, de gravas redondeadas depositadas recientemente, presenta pendientes suaves (1° - 5°), geodinámicamente es susceptible a procesos de socavamiento e inundaciones (figuras 26 y 27).

Subunidad de terraza fluvial (T-fl)

Corresponden a superficies bajas, adyacentes a los cauces de ríos principales: San Jorge y Cospán, están sujetas a inundaciones recurrentes, se distinguen como terrenos planos de pendientes llanas (0° - 1°), compuestos por materiales no consolidados, removibles (figura 28).



Figura 26. Muestra el valle del río San Jorge, donde se observan terrazas altas (Ta-al) y bajas aluviales (Tb-al), limitadas por montañas en rocas sedimentarias (RME-rs)



Figura 27. Vista cenital con dron, de valle del río San Jorge, donde se observan terrazas fluviales (T-fl), terrazas altas (Ta-al) y bajas aluviales (Tb-al), limitadas en la margen derecha por montañas en rocas sedimentarias (RME-rs) y en la margen izquierda por la vertiente coluvio-deluvial, donde se asientan las viviendas del Chacapunta.

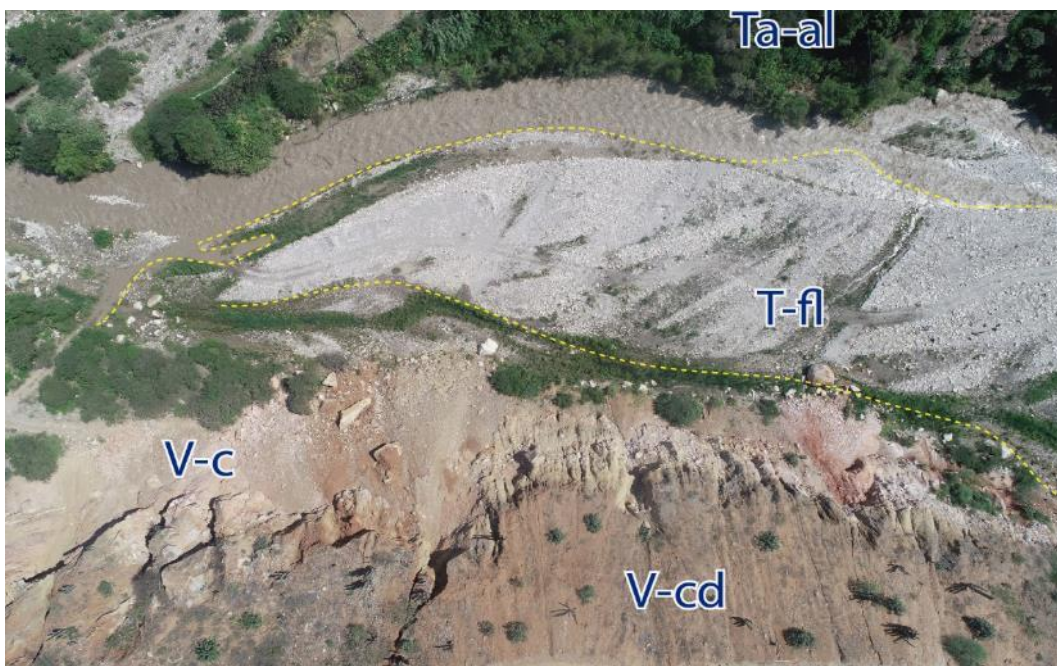


Figura 28. Vista cenital con dron, de valle del río San Jorge, donde se observan terrazas fluviales (T-fl), en la margen izquierda del río San Jorge

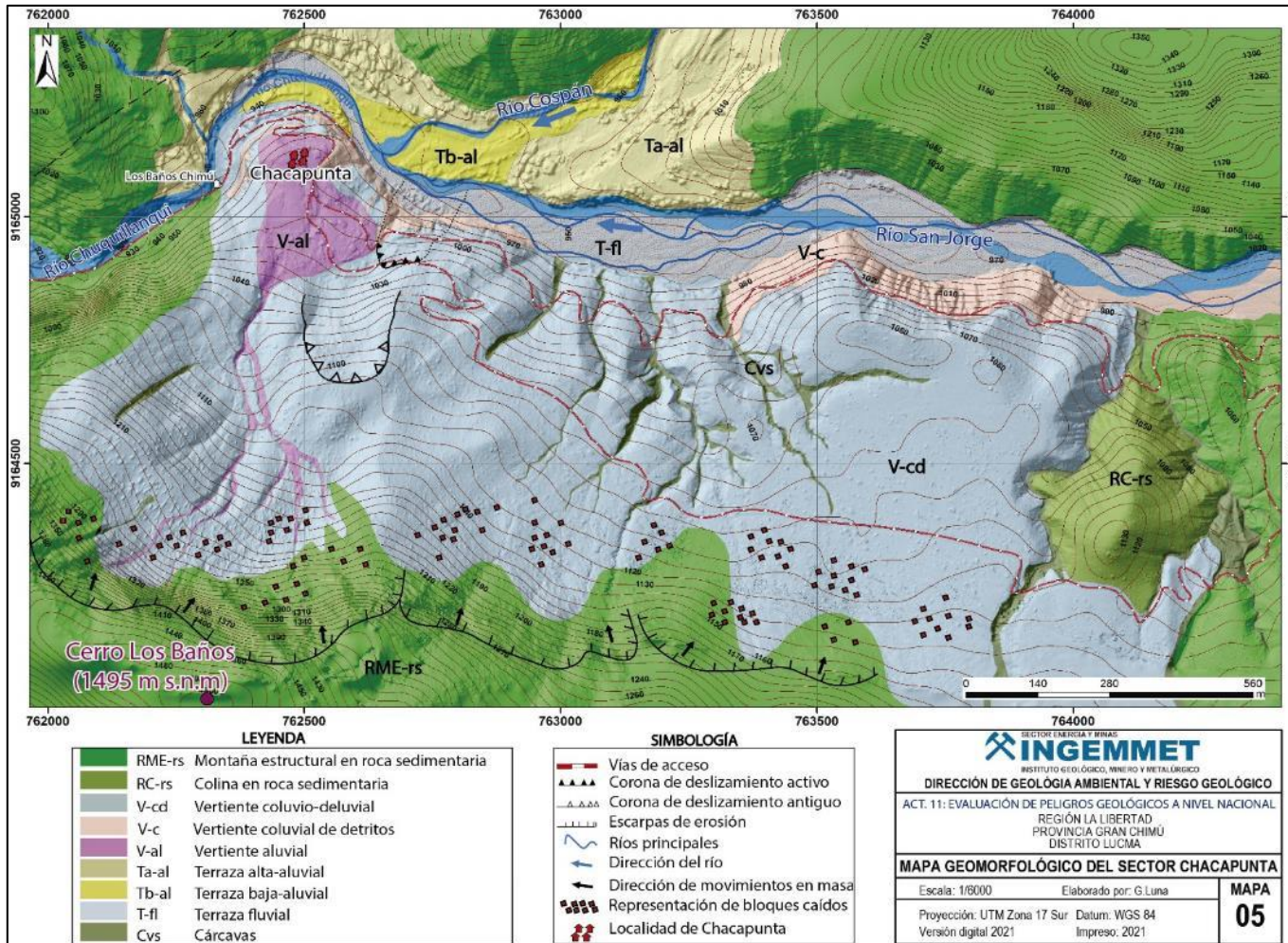


Figura 29. Mapa geomorfológico del sector Chacapunta y alrededores.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Según la clasificación propuesta por el PMA: GCA (2007), los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento (reactivación), caídas (caída de rocas y derrumbes) y flujos (flujo de detritos- huaicos). Estos procesos se dieron sobre la vertiente coluvio-deluvial, sobre la cual se asientan las viviendas del caserío de Chacapunta, y modifican el relieve del mismo. Anexo 1.

Los movimientos en masa presentes en el sector evaluado, tiene como factores condicionantes la morfología del terreno, la pendiente, el tipo de roca y/o suelos, el drenaje superficial-subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica), actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

Las viviendas del caserío de Chacapunta, se ubican sobre una vertiente coluvio-deluvial y próximos al borde superior de una ladera de aproximadamente 44 m de altura. La distancia de las viviendas a la ladera varía de 5 a 38 m.

En la ladera se han identificado procesos de erosión como cárcavas, derrumbes y caída de rocas, mientras que en la vertiente coluvio-deluvial se ha cartografiado grietas que delimitan el cuerpo de un deslizamiento en formación.

Estos procesos están condicionados por factores intrínsecos del terreno, como: su composición litológica (depósitos coluvio-deluviales poco consolidados), pendientes fuertes, ausencia de cobertura vegetal, así como por factores antrópicos como la infiltración de aguas de uso doméstico.

Estos procesos pueden ser desencadenados por precipitaciones (periódicas y extraordinarios), así como por efectos cosísmicos.

4.2. Deslizamiento en proceso de formación

En el sector de Chacapunta, se han identificado y cartografiado grietas tensionales, de longitudes variables entre 0.5 m a 100 m (figura 30). Según versión de pobladores, las grietas aparecieron en diciembre de 2020, y desde entonces habrían incrementado sus medidas de longitud y apertura.

La mayor grieta tensional presenta una longitud de 100 m, con dirección noreste-suroeste, apertura de 2.5 m y profundidad visible de 4 m (figura 31 y 32)

Las grietas delimitan la formación del cuerpo de un deslizamiento rotacional en roca y suelo en proceso de reactivación, que involucra depósitos coluvio-

deluviales poco consolidados acumulados sobre lutitas y limoarcillitas de la Formación Santa-Carhuaz, trituradas, altamente meteorizadas e intemperizadas de baja competencia geomecánica.

Así, este deslizamiento presenta su corona principal en la cota 920 m s.n.m. donde se observa un salto de escarpe de 1.8 m y longitud de aproximadamente de 29 m (figura 35).

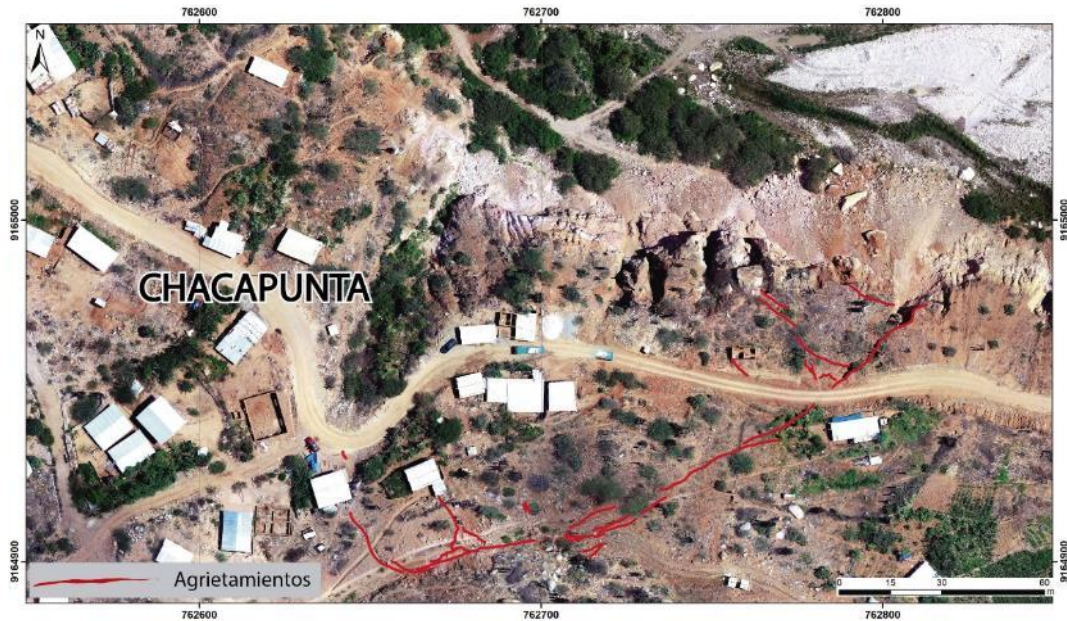


Figura 30. Mapa donde se muestran los agrietamientos (líneas rojas) cartografiados en el sector de Chacapunta.

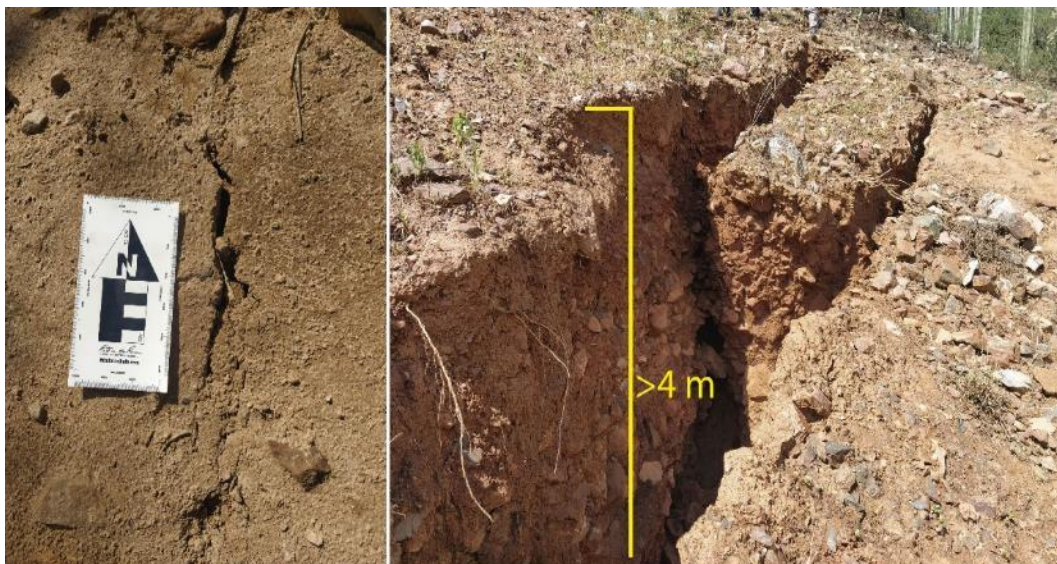


Figura 31. Grietas tensionales centimétricos (izquierda) y métricas (derecha), con profundidad visible de hasta 4 m.

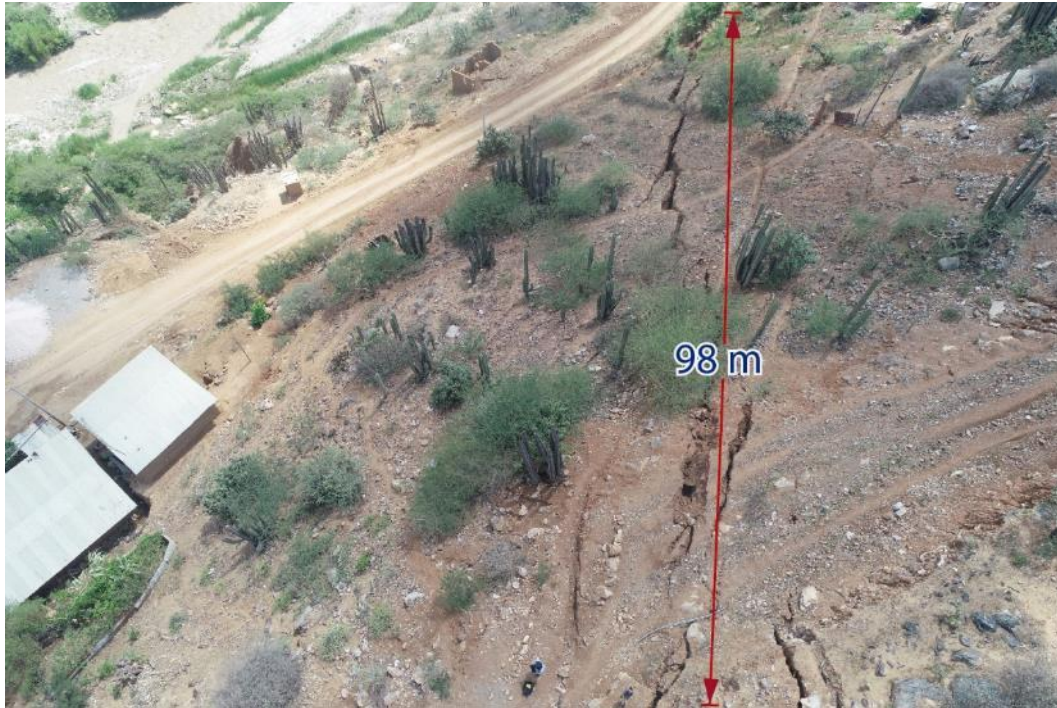


Figura 32. Vista área con dron de la grieta tensional de mayor longitud ~100 m, de dirección NE-SW.

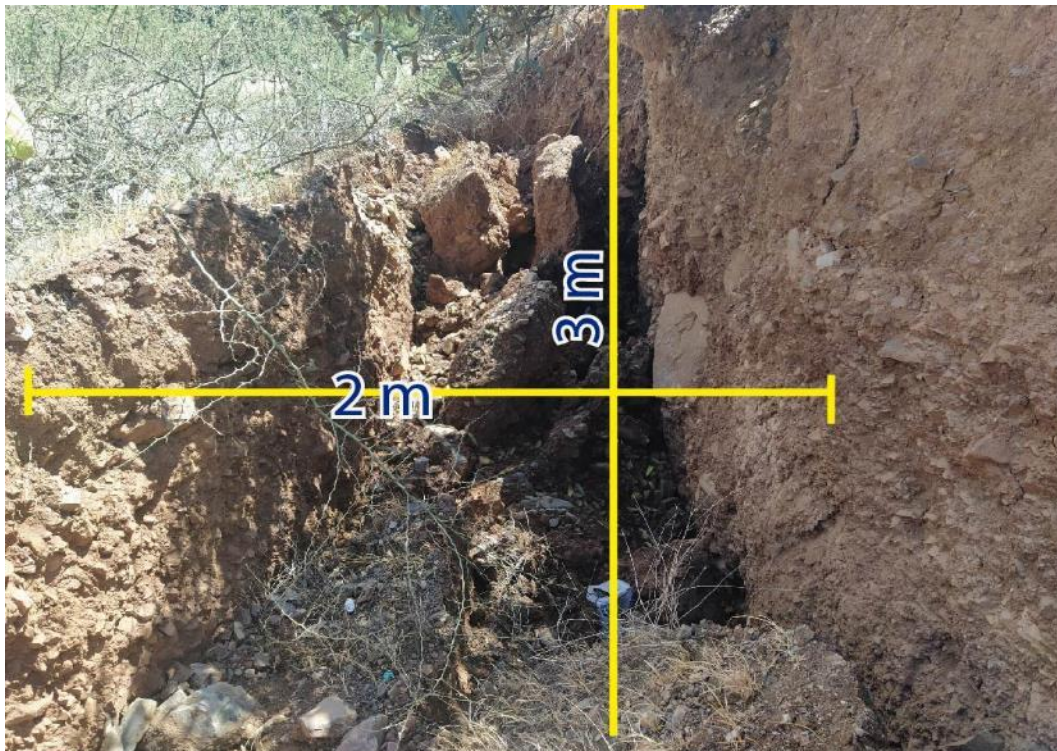


Figura 33. Grietas tensionales de 2 m de ancho, y 3 m, de profundidad, donde se observa el arroj de basura.



Figura 34. Grietas tensionales en la vertiente coluvio deluvial, donde se asientan las viviendas del caserío de Chacapunta.



Figura 35. Muestra la corana principal y el salto de escarpe del deslizamiento en proceso de formación

4.2.1. Características visuales del deslizamiento en proceso de formación.

El 20 de diciembre del 2020 (INDECI, 2021), se generaron grietas tensionales en la vertiente coluvio-deluvial de la margen izquierda del río San Jorge, coronadas por un salto de escarpe de 1.8 m, en la cota 998 m s.n.m. Estas grietas delimitaron la formación de un deslizamiento que compromete la seguridad física de 153 m, de la carretera que conecta el poblado de Chacapunta, así como las viviendas del caserío, con el distrito de Sayapullo (figura 36), cuyas características son:

- Longitud del escarpe principal: 29 m.
- Forma del escarpe: semicircular.
- Forma de la superficie de ruptura: rotacional.
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del deslizamiento: 72 m.
- Dirección azimut del movimiento: N 135°.
- Área del deslizamiento: 13 580 m².
- Volumen estimado: 136 000 m³.
- Estado del evento: Activo (en proceso de formación).

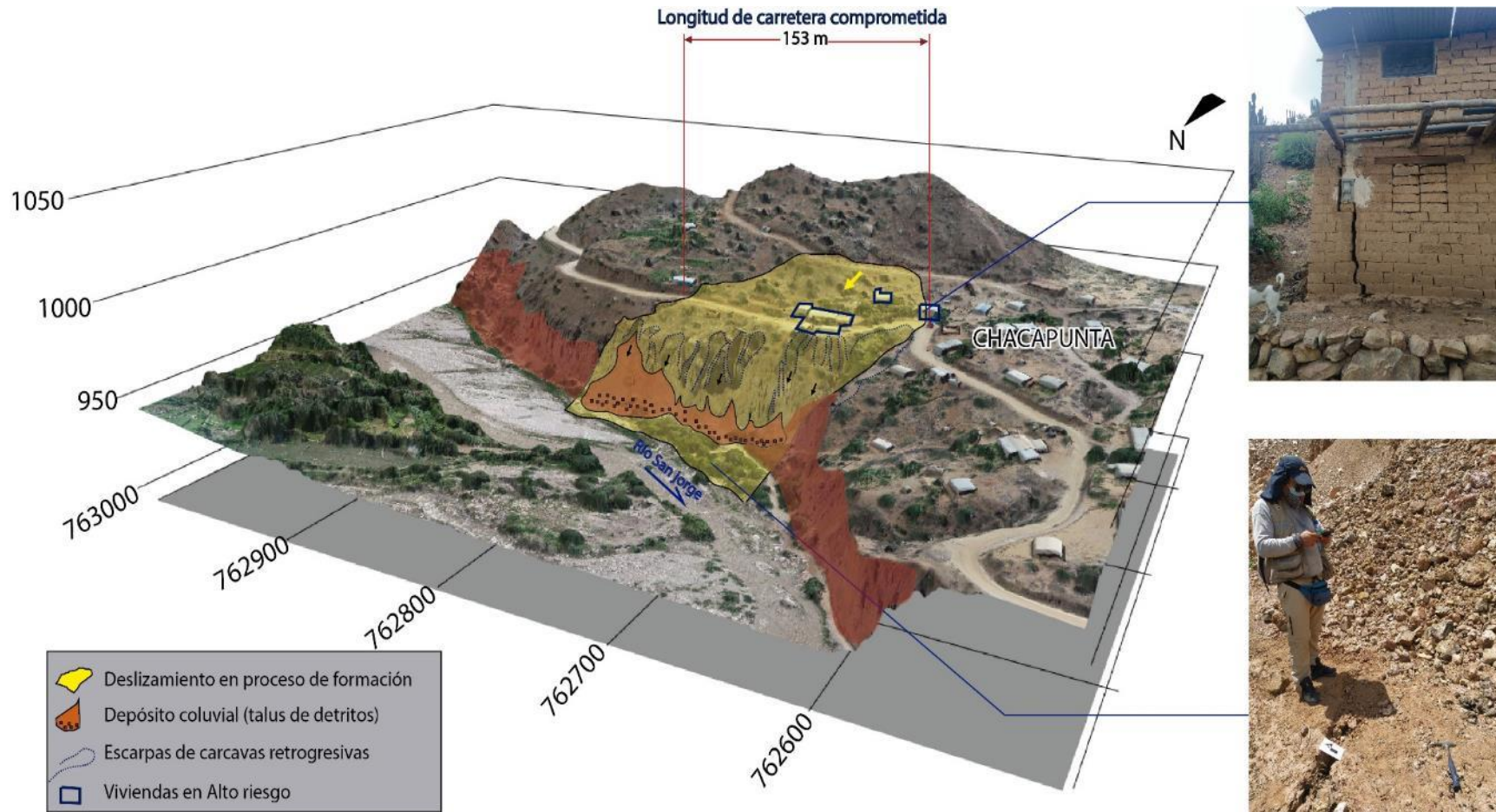


Figura 36. Esquema gráfico tridimensional del cuerpo del deslizamiento, en formación limitado por grietas tensionales.

4.2.2. Análisis de perfiles transversales del deslizamiento en formación.

En base al modelo de elevaciones del terreno (0.4 m/px) obtenidos a partir de trabajos fotogramétricos en el sector de inspección, se ha realizado un perfil transversal del cuerpo del deslizamiento, sobre el cual se ha interpretado: la litología (a partir del mapa geológico existente), el plano de movimiento inferido y se han calculado las distancias y medidas correspondientes (figura 37).

El perfil interpretado muestra que el deslizamiento moviliza material detrítico conformado por depósitos coluvio-deluviales poco consolidados, constituido por bloques de areniscas (diámetros de 0.5 a 6 m), envueltos en una matriz limoarenosa sobre los cuales se asientan las viviendas del caserío de Chacapunta. Estos depósitos coluviales se emplazan sobre secuencias sedimentarias de buzamientos a favor de la pendiente, lo que favorece el desplazamiento de la masa inestable por gravedad.

La corona del deslizamiento se ubica sobre los 990 m s.n.m. y la altura de la corona hasta el pie del deslizamiento es de aproximadamente 72 m con longitud de 165 m.

Desde la base de la ladera, a una altura de 44 m (cota 960 m s.n.m.), se observan procesos de erosión de ladera, como derrumbes y caída de bloques, que favorecen la inestabilidad del pie del deslizamiento en formación.

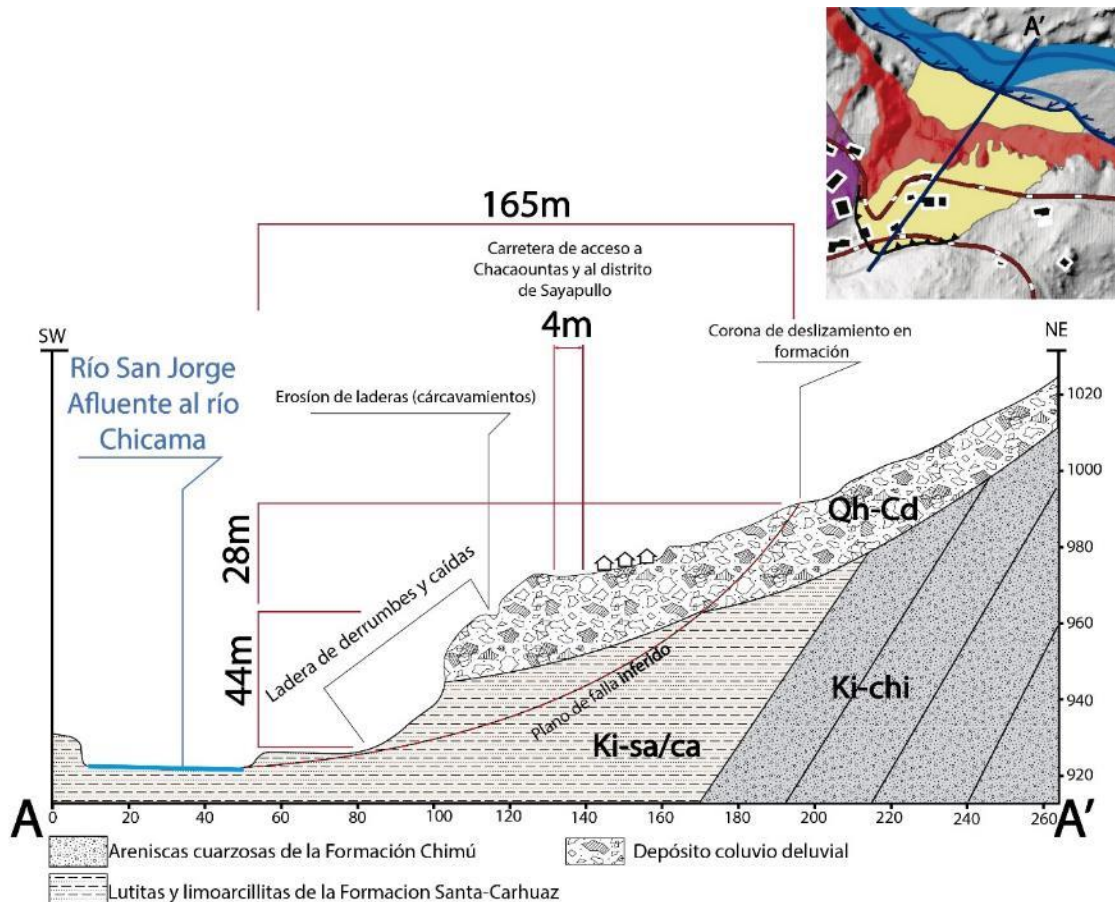


Figura 37. Perfil interpretativo del deslizamiento en formación en el sector Chacapunta.

4.2.3. Daños ocasionados por el deslizamiento en formación.

Las grietas tensionales, que delimitan el cuerpo del deslizamiento han afectado, la estructura de viviendas y pequeños reservorios de agua. Así mismo compromete la estabilidad de 150 m de la carretera (trocha carrozable); ver figura 39, que conecta Chacapunta (distrito de Lucma), con el distrito de Sayapullo (figura 40).

En los trabajos de campo se han observado viviendas que se encuentran dentro y alrededor del cuerpo del deslizamiento que presentan agrietamientos en sus pisos y muros, de igual manera algunos depósitos de agua muestran evidencias de agrietamientos (figura 38 y 39).



Figura 38. Agrietamientos en pisos y muros de viviendas ubicadas dentro del cuerpo del deslizamiento.



Figura 39. Reservorio de agua afectada por grietas tensionales en el terreno.



Figura 40. Imagen aérea que muestran las viviendas dentro del cuerpo del deslizamiento, de igual manera se observan viviendas muy próximas al borde de la ladera.

4.2.4. Factores condicionantes para la ocurrencia del deslizamiento en formación.

Factor litológico

- El sector de Chacapunta, se asienta sobre depósitos coluvio-deluviales poco consolidados de baja cohesión, conformado por bloques de hasta 6 m englobados en una matriz limo-arenosa, estos depósitos cubren areniscas altamente fracturadas y permeables de buzamientos $>45^\circ$ a favor de la pendiente de la Formación Chimú y rocas lutaceas y limoarcillitas trituradas de la Formación Santa-Carhuaz, estos depósitos son poco competentes y altamente susceptibles a procesos de movimientos en masa.

Factor geomorfológico

- El sector Chacapunta se asienta sobre la vertiente coluvio-deluvial de la margen izquierda del río San Jorge, que presenta una ladera muy escarpada ($>45^\circ$), donde se presentan procesos de erosión como derrumbes y caída de bloques. La vertiente sobre la que se ubican las viviendas presenta pendientes fuertes a muy fuertes y sobre ella se observan montañas estructurales en roca sedimentaria de pendientes muy escarpadas. Estas características en la pendiente y geomorfología favorecen el desplazamiento de movimientos en masa por gravedad.

Factores hidrológico-hidrogeológico

- El río San Jorge, erosiona las terrazas bajas y fluviales inestabilizado la vertiente coluvio-deluvial.
- En la ladera y el corte de talud de la carretera de acceso a Chacapunta, se observan filtraciones de aguas, por fracturas y en el contacto del material coluvio-deluvial y roca. Estas filtraciones erosionan las partículas finas cementantes del depósito coluvio-deluvial, reduciendo la cohesión y favoreciendo la inestabilidad de la ladera.

Otros factores antrópicos

- Se evidenció que el caserío de Chacapunta, no presenta sistema de desagüe, motivo por el cual sus aguas residuales son vertidas en pozos ciegos, que saturan progresivamente el suelo coluvio-deluvial, favoreciendo la inestabilidad de la ladera.
- Se evidenció la acumulación de basura en cárcavas que genera sobrecarga y percolación de aguas residuales en el material erosionable de la ladera.

4.2.5. Factores desencadenantes para la ocurrencia del deslizamiento en formación

Precipitaciones pluviales

- El sector de Chacapunta, tiene un clima semiárido, con deficiencia de precipitaciones. Las precipitaciones más altas registradas se dieron en marzo del 2017 (Fenómeno de “El Niño Costero”), según la estación meteorológica de Puente Palmira (figura 41) ubicada en el distrito de Cascas a 25 km del sector Chacapunta las precipitaciones máximas diarias llegaron a 10.9 mm.

Esta misma estación registró valores máximos de 2.6 mm en el mes de diciembre de 2020 (figura 42), fecha que coincide con la aparición de las grietas tensionales. Considerando la diferencia, longitudinal y altitudinal entre la estación y el sector de evaluación, se infiere que estas precipitaciones pudieron ser mayores en la zona de inspección, siendo el principal factor desencadenante del evento.

Sismos

- La sismicidad relacionada a efectos cosísmicos de los movimientos telúricos que al interactuar con los suelos blandos del depósito coluvio-deluvial experimentan considerables incrementos en sus niveles de sacudimiento, favorecen el movimiento de la masa inestable ladera abajo. Pudiendo ser un desencadenante potencial de dichos eventos.

Los mayores movimientos sísmicos desencadenantes de efectos cosísmicos se pueden atribuir a sismos intraplaca debido principalmente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana, que da origen a sismos de diferentes magnitudes y con focos diversos. Una segunda fuente lo constituyen la deformación en la zona continental que

producen fallas con la consecuente ocurrencia de sismos. La información histórica sísmica del departamento de La Libertad, indican que las máximas intensidades en la escala de Mercalli Modificada (MM), oscilaron entre VI y X (Medina., et al 2012)

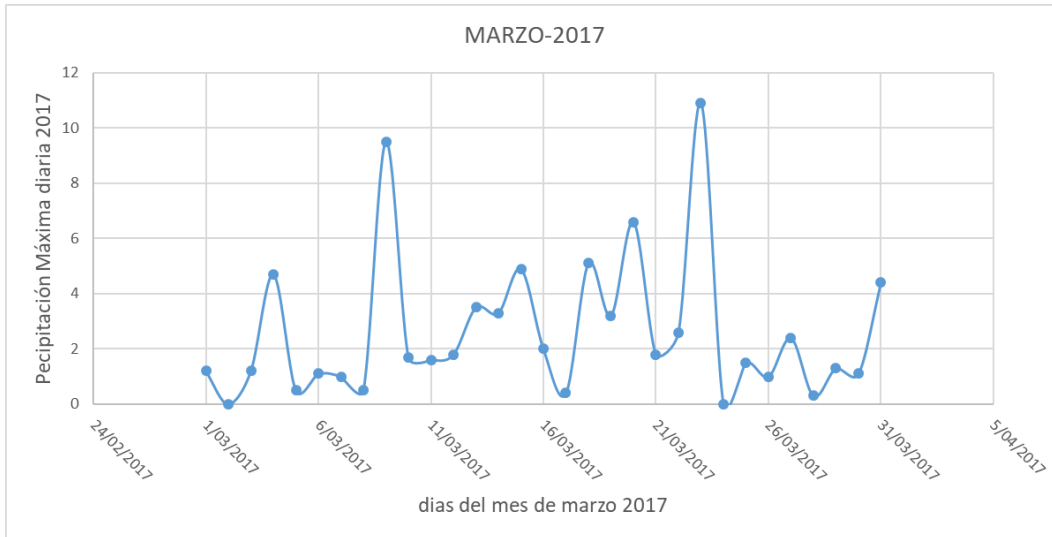


Figura 41. Precipitaciones máximas diarias en el mes de marzo del 2017 (Fuente: estación Puente Palmira-SENAMHI)

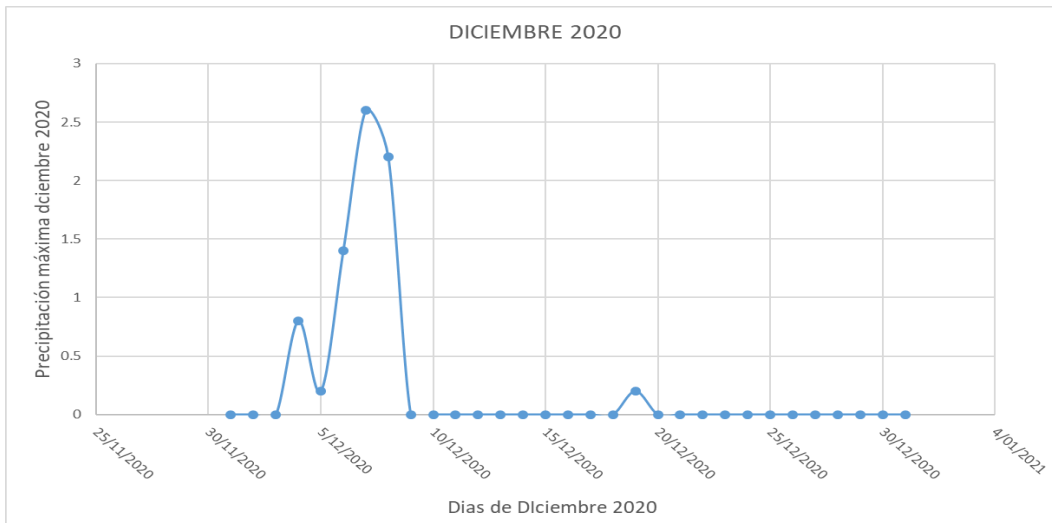


Figura 42. Precipitaciones máximas diarias en el mes de diciembre del 2020 (Fuente: estación Puente Palmira-SENAMHI)

4.3. Erosión de laderas en el sector Chacapunta

El sector de Chacapunta se ubica en la vertiente de la margen izquierda del río San Jorge, a pocos metros del borde superior de una ladera escarpada de 44 m, compuesta por depósitos coluvio-deluviales, las cuales se caracterizan por ser fácilmente erosionables. En estos depósitos se han identificado procesos de erosión de laderas a manera de cárcavas, derrumbes y caída de bloques (figura 43).

Carcavamientos

Las cárcavas son canales naturales de incisión causados por flujos de agua concentrados, a través del cual fluyen las aguas de escorrentía superficial, estas se pueden producir debido a las actividades antropogénicas y factores físicos, como el uso inapropiado del suelo y construcción de caminos (Gutiérrez et al., 2011).

El proceso de acaravamiento, genera la erosión de partículas poco consolidadas y se intensifica en zonas áridas y semiáridas (caso sector Chacapunta).

Se han identificado cárcavas en la ladera escarpada de la vertiente coluvio-deluvial sobre el cual se ubican las viviendas de Chacapunta, estas cárcavas tienen avances retrogresivos, erosionando la vertiente de la margen izquierda del río, dejando a las viviendas del caserío de Chacapunta, expuestas al borde de la ladera escarpada.

También se han identificada cárcavas de longitudes mayores a 100 m, al este del caserío de Chacapunta, que erosionan las vías de comunicación (Chacapunta-Sayapullo), y remueven materiales detríticos.

En base a lo analizado podemos inferir que la mayoría de estas cárcavas se originaron debido a las precipitaciones intensas durante el fenómeno de “El Niño Costero 2017”; a pesar de la deficiencia de lluvias desde entonces, una vez generadas las cárcavas estas continúan con el proceso de erosión generando sedimentos que quedan sueltos y producen derrumbes, caída de bloques y son aportantes de material sólido para flujo de detritos (huaicos).

Derrumbes

Estos peligros geológicos se identificaron en la ladera de 44 m, de altura, de la margen izquierda del río San Jorge que está conformada en la parte inferior por lutitas y limoarcillitas de la Formación Santa- Carhuaz y en la parte superior por depósitos coluvio-deluviales poco consolidados que sufre procesos de carcavamientos, dejando material detrítico suelto que cae por acción de la gravedad formando cono de detritos.

Caída de rocas

Se dan en la misma ladera, donde se producen los derrumbes y carcavamientos.

Los bloques (diámetros de 1 a 9 m), que caen eran parte del material coluvio deluvial que han perdido su cementante fino, por procesos de erosión (acaravamiento), y caen por gravedad al perder cohesión con la matriz que los englobaba.

4.3.1 Factores condicionantes para la ocurrencia de erosión de laderas

Los factores que condicionan los procesos de erosión de laderas en el sector Chacapunta son:

Factor litológico

- Los depósitos coluvio-deluviales en la ladera escarpada de la margen izquierda del río: son altamente erosionables, engloba bloques de más 6 m de diámetro, en una matriz limo-arenosa, fácilmente erosionable, que caen por gravedad al perder cohesión por procesos de erosión (carcavamientos).
- Los planos de fractura de las rocas (areniscas de la Formación Chimú), favorecen el desprendimiento de bloques de rocas que caen sobre la vertiente, por gravedad.

Factor Geomorfológico

- La ladera donde se producen los derrumbes y caída de bloques presentan pendientes escarpadas (>45°).

Otros factores antrópicos

- Se ha evidenciado el arrojado de material residual (basura) en cárcavas, que incrementa el proceso de erosión gradual.

4.3.2. Factores desencadenantes para la ocurrencia de erosión de laderas

En base a lo analizado podemos inferir que la mayoría de las cárcavas incrementaron sus longitudes y profundidades debido a las precipitaciones intensas durante el fenómeno de “El Niño Costero 2017”; a pesar de la deficiencia de lluvias desde entonces, una vez generadas las cárcavas estas continúan con el proceso de erosión generando sedimentos que quedan sueltos y producen derrumbes, caída de bloques y son aportantes de material sólido para flujo de detritos (huaicos). Así mismo; movimientos sísmicos pueden desencadenar y acelerar estos procesos, como efectos cosísmicos.



Figura 43. Muestra las zonas de derrumbes y caída de rocas, en el sector Chacapunta.

4.4. Flujo de detritos antiguo.

Las viviendas de Chacapunta, se encuentran en parte de una quebrada, con eficiencia en producción de materiales detríticos, donde se evidencia el depósito de flujos antiguos, desencadenados por precipitaciones extraordinarias, estos materiales de flujos antiguos se encuentran entreverados con depósitos de caída de bloques y derrumbes, conformando el cuerpo coluvio-deluvial, sobre el que se asienta Chacapunta (figura 44).

Frente a eventos extraordinarios dicha quebrada es susceptible a reactivarse, generado huacos concentrados, que bajan por la quebrada hasta desembocar en el río San Jorge.

4.4.1 Factores condicionantes para la ocurrencia de flujo de detritos

Los factores que condicionan los flujos de detritos en el sector Chacapunta son:

- Las rocas altamente fracturadas de la Formación Chimú, aportan a la quebrada material detrítico fácilmente removible por flujos de agua generados por lluvias extraordinarias.
- Las laderas que circunscriben la quebrada encima de Chacapunta, presenta pendientes fuertes (35°) a moderadas (25°), que permitirían que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad y acción de aguas de escorrentía

4.4.2. Factores desencadenantes para la ocurrencia de flujo de detritos

El factor desencadenante que puede generar flujos de detritos en el sector de Chacapunta, se atribuyen a precipitaciones de carácter extraordinario como los ocurridos en el fenómeno de “El Niño Costero-2017”.

4.5. Caída de rocas en la parte superior del sector de Chacapunta

La vertiente donde se asienta Chacapunta, se encuentra adosada al flanco norte de la subunidad de montaña de la Formación Chimú, que presenta pendientes muy escarpadas de hasta 75°, conformada por areniscas cuarzosas altamente fracturadas y meteorizadas que buzan a favor de la pendiente, lo que favorece el desprendimiento de bloques de areniscas y la ocurrencia de caídas de roca.

Este es el segundo punto donde se observan caída de rocas en el sector Chacapunta, se ubica en la parte alta del depósito coluvio-deluvial (sobre las viviendas de Chacapunta), que presenta caídas de bloques de roca provenientes del material fracturado (areniscas cuarzosas de la Formación Chimú) que caen por gravedad (figura 44-2).

Condicionados principalmente por la dirección de fracturamiento de las rocas areniscas (a favor de la pendiente), que pueden ser desencadenados por efectos cósmicos.

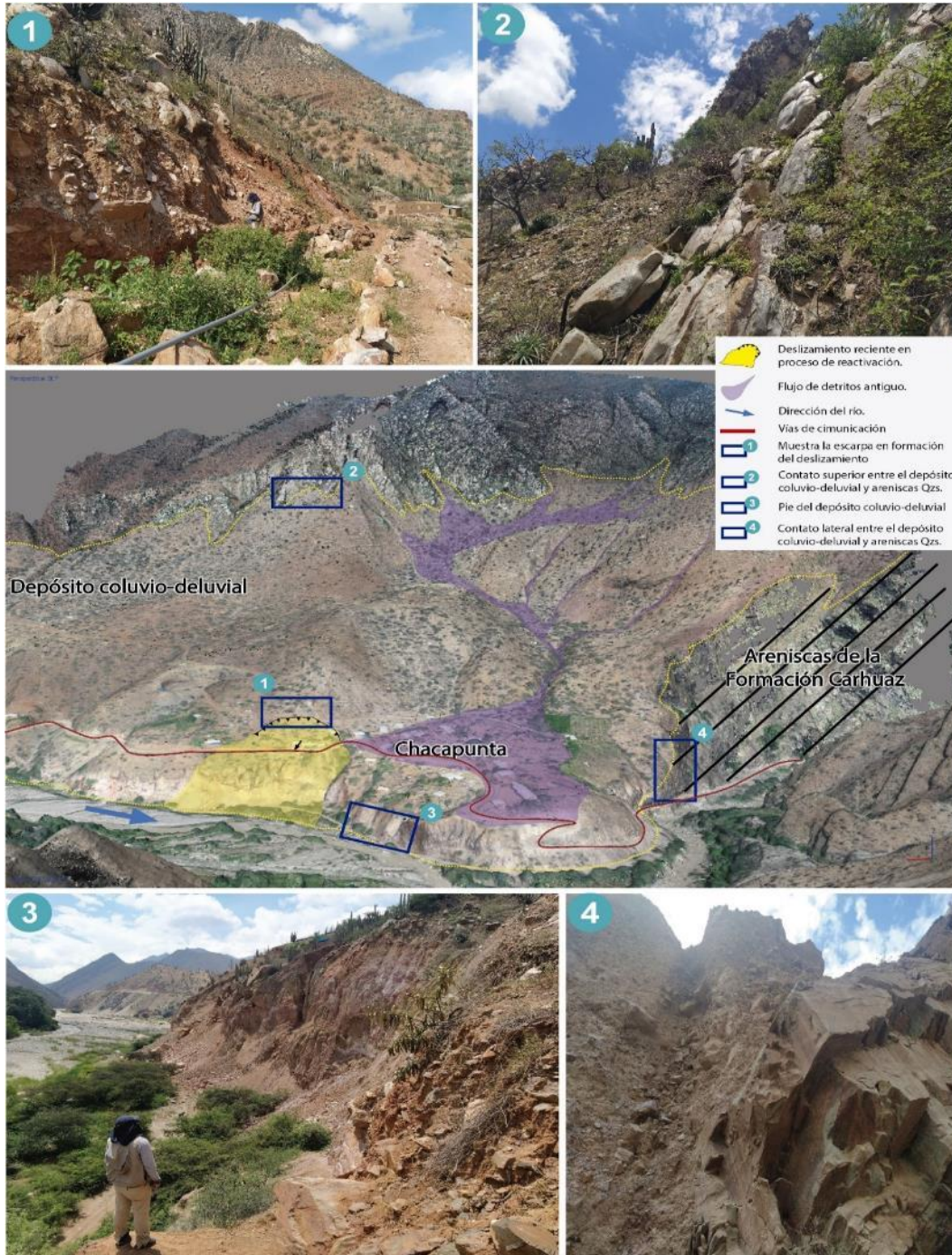


Figura 44. Figura resumen de los eventos de movimientos en masa que afectan al sector de Chacapunta

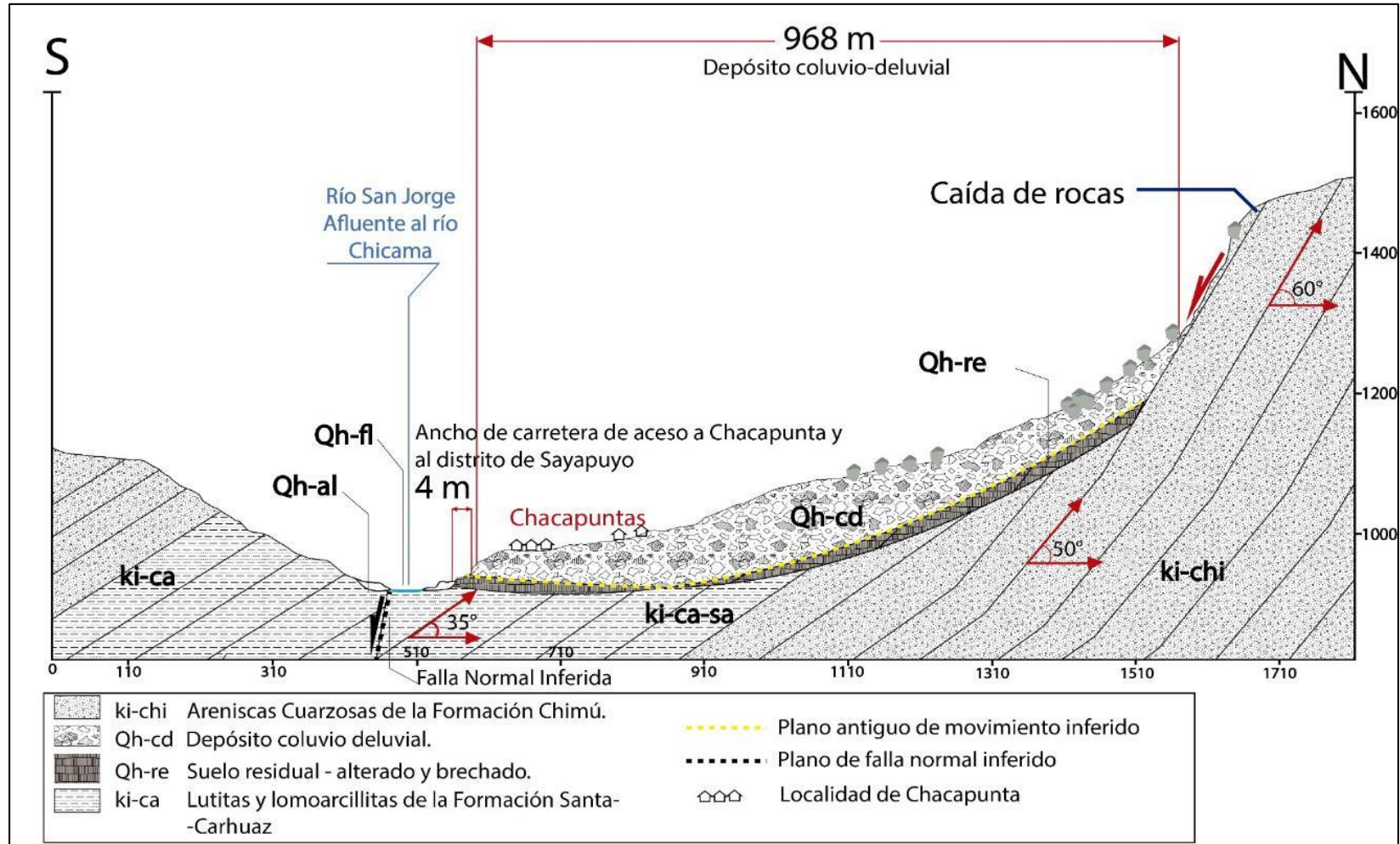


Figura 45. Perfil general del sector Chacapunta, muestra la distribución litológica y algunos de los movimientos en masa identificados.

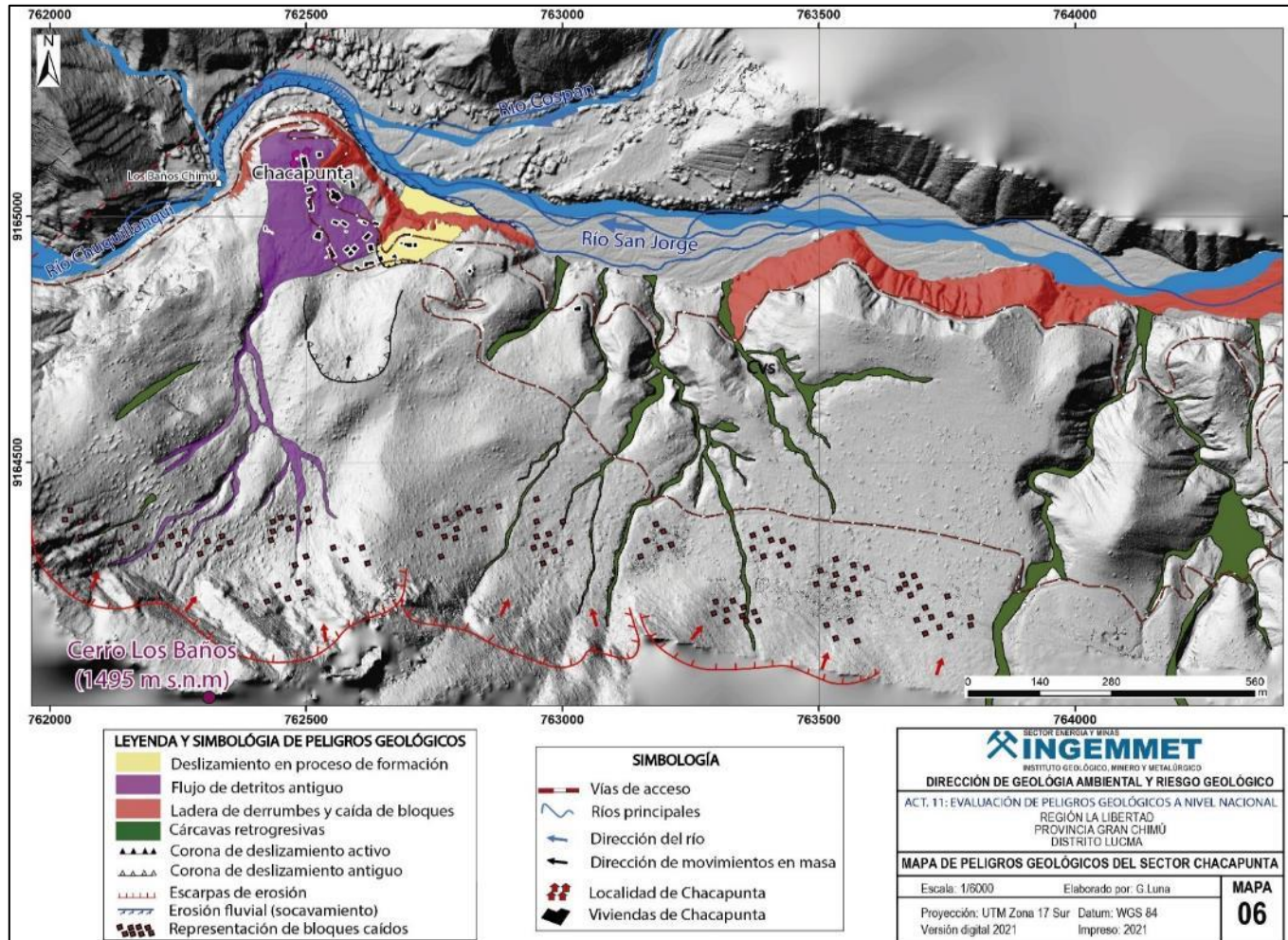


Figura 46. Mapa de peligros geológicos en el sector Chacapunta.

5. CARACTERIZACIÓN DE ÁREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN

Debido a las características geodinámicas que presenta el sector de Chacapunta, es necesario evaluar la reubicación del caserío a un sector más estable, para ello se debe tener en cuenta que el terreno propuesto de reubicación deberá cumplir mínimamente las siguientes características:

- No debe encontrarse sobre o aledaños a zonas y áreas de influencia de peligros geológicos no mitigables.
- Preferentemente asentarse en afloramientos de rocas competentes, evitando depósitos no consolidados.
- No asentarse en zonas de quebrada.
- En lo posible la pendiente natural del terreno debe ser suave a moderada (1° - 15°).

Teniendo en cuenta estas características se ha evaluado el sector propuesto por los pobladores del caserío de Chacapunta (figura 47).

Esta área de 6 ha, presenta una pendiente suave (1 - 5°), está conformado por depósitos coluvio-deluviales, poco consolidados donde se evidencian procesos de carcavamientos (figura 48), con características retrogresivas activas.

Esta área igual que el sector de Chacapunta presenta caída de rocas, desde las cotas superiores de la montaña de roca arenisca fracturada, sobre el cual esta adosada la vertiente coluvio-deluvial, evidencia de esto son los bloques de diámetros de 5 m, depositados en esta área.



Figura 47. Áreas propuestas para reubicación del caserío de Chacapunta.

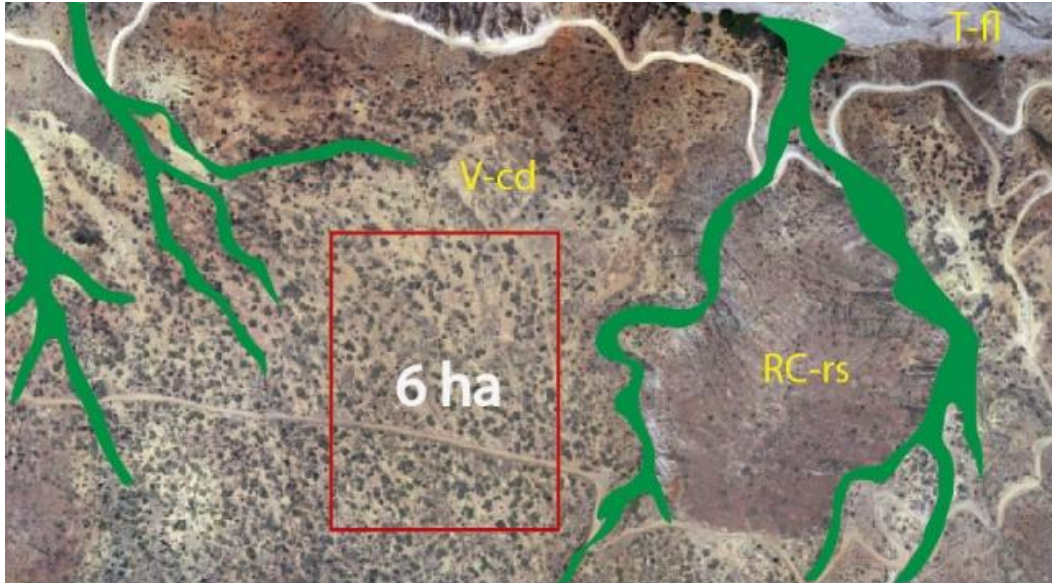


Figura 48. Se observan carcavamientos que limitan el área de reubicación propuesta por los pobladores de Chacapunta.

Por lo expuesto anteriormente no se recomienda, el área para la reubicación permanente del caserío Chacapunta, pero puede ser utilizado como una zona de reubicación temporal, mientras se designa la zona final de reubicación.

AREA PROPUESTA

Basados en fotointerpretación y análisis de insumos satelitales, se ha identificado un área de 4 ha, que podría cumplir con las características mínimas para la reubicación del caserío de Chacapunta (figura 48), la cual se encuentra a 7.5 km del caserío sobre los poblados de Simbrón, Acequia alta y Tiris (figura 49-3).

La caracterización indirecta muestra que morfológicamente, el área propuesta se encuentra, sobre una lomada de roca sedimentaria de pendientes llanas a suaves (0° - 5°), ver figura 49-2.

De considerar esta área, deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios de peligros geológicos en la zona propuesta.
- Arborizar los bordes de la lomada sobre la cual se ubica el área propuesta.
- La expansión urbana por ningún motivo se debe realizar en bordes de las laderas, se debe guardar una distancia entre 20 y 30 m como mínimo.
- Realizar obras de drenaje pluvial.
- Realizar obras de control de cárcavas.
- Realizar estudios geotécnicos, para determinar la capacidad portante de los suelos y establecer las características viviendas a construir.

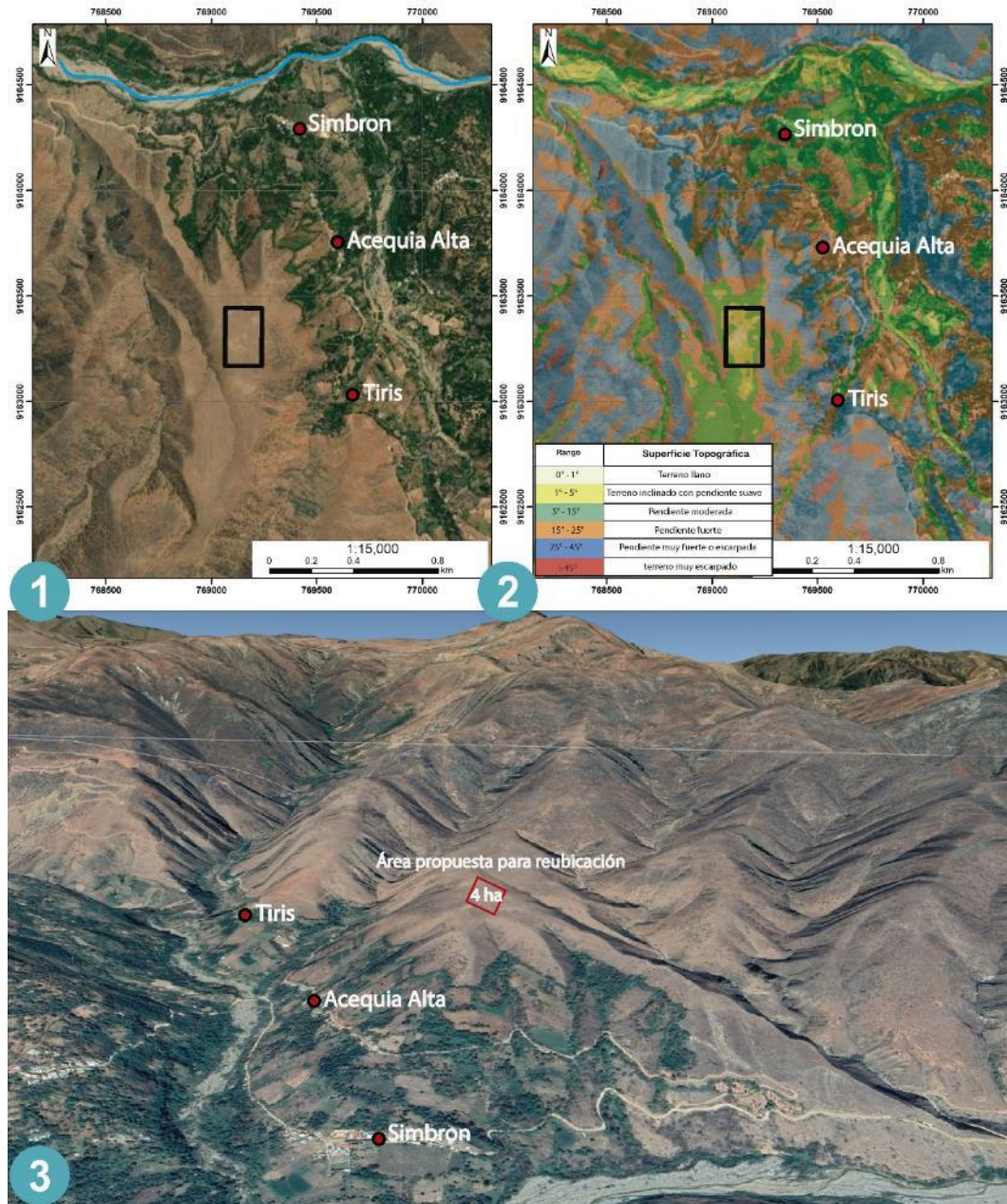


Figura 49. Características del área propuesta de reubicación; 1) ubicación del área de reubicación; 2) pendientes del terreno en el área de reubicación; 3) morfología del área de reubicación

6. CONCLUSIONES

1. En el sector de Chacapunta, se identificaron peligros geológicos correspondientes a: un (01) deslizamiento en proceso de formación, procesos de erosión de laderas como: derrumbes, caída de bloques y carcavamientos, así como zonas susceptibles a la generación de flujo de detritos.
2. Geológicamente, las viviendas del caserío de Chacapunta se asientan sobre depósitos coluvio-deluviales no consolidados, que cubren areniscas y limoarcillitas de las formaciones Chimú y Santa-Carhuaz, con las siguientes características:
 - Los depósitos coluvio-deluviales, están conformados por bloques de areniscas de diámetros entre 0.5 y 5 metros, envueltos en una matriz limo-arenosa, no consolida de alta plasticidad, alta cohesión y poco competentes, susceptibles a procesos de erosión.
 - Las areniscas de la Formación Chimú, se encuentran altamente fracturadas y meteorizadas, su plano de buzamiento está a favor de la pendiente ($>45^\circ$), lo que condiciona caídas sobre la vertiente superior, donde se asienta el caserío de Chacapunta.
 - La Formación Santa-Carhuaz se encuentra representada por unidades finas de lutitas y limoarcillitas trituradas y altamente meteorizadas, con evidencias de alteración. Donde se producen derrumbes, caída de bloques y procesos de carcavamientos.
3. Geomorfológicamente, las viviendas de Chacapunta y el trazo de carretera que conecta con el distrito de Sayapullo, se ubica sobre una vertiente coluvio-deluvial, en la margen izquierda del río San Jorge, a pocos metros del borde superior de una ladera escarpada, la cual presenta procesos de carcavamiento.
4. En el terreno del sector de Chacapunta, se identificó grietas tensionales con aperturas máximas 2.5 m, longitudes de hasta 100 m y profundidad visible de 4 m, que delimitan la formación de un deslizamiento.
5. El deslizamiento en formación abarca un área de 13 580 m² y compromete un volumen estimado de 136 000 m³, cuya corona presenta una longitud de 29 m y salto vertical de 1.8 m. El escarpe principal se encuentra en la cota 998 m s.n.m. y el pie a 926 m s.n.m. haciendo una diferencia de 72 m de altura.
6. El deslizamiento compromete la vía que conecta el poblado de Chacapunta de 153 m de (distrito Lucma), con el distrito de Sayapullo, así como viviendas que han sido afectadas por agrietamientos en muros y pisos, que afectan la estabilidad de las edificaciones.

7. Los factores condicionantes principalmente se relacionan a las características litológicas del substrato rocoso poco competente, con presencia de rocas muy fracturadas y con orientación desfavorable de discontinuidades; a ello se suma las pendientes altas del terreno de aproximadamente (45°), escasa vegetación y la acción de socavamiento al pie de la ladera del río San Jorge.
8. Se considera que el factor desencadenante para la ocurrencia de los procesos de erosión de laderas (carcavamientos) se deben a las precipitaciones extraordinarias, como por ejemplo la del fenómeno de “El Niño Costero-2017”.
9. En esta zona, las lluvias son escasas, pero diciembre 2020, estas alcanzaron hasta 2.6 mm diarios, los cuales generaron detonaron el deslizamiento, como también otros movimientos en masa.
10. El área de reubicación propuesta por los pobladores se considera no adecuada para el reasentamiento del caserío Chacapunta, por encontrarse en una vertiente coluvio-deluvial de material detrítico poco consolidado sujeto a fuertes procesos de carcavamientos y caída de rocas, es por ello que se recomienda una nueva área ubicada a 7.5 km del caserío con condiciones mínimas adecuadas para el reasentamiento del poblado.
11. Por las condiciones geodinámicas mencionadas, el sector de Chacapuntas, es considerado de **MUY ALTO PELIGRO**, frente a la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y carcavamientos, principalmente con la ocurrencia de lluvias extraordinarias y/o sismos de gran magnitud.

7. RECOMENDACIONES

1. Reubicación inmediata de las viviendas que aún se mantienen en la zona del deslizamiento en proceso formación.
2. Reubicación total de viviendas del caserío Chacapunta priorizando las viviendas dentro y aledañas al deslizamiento en formación, así como aquellas que se ubiquen cercanas al borde superior de la ladera con procesos de erosión y dentro de la zona de influencia de flujos provenientes de la parte alta.
3. Delimitar el área de influencia de la ladera frontal hacia el río, con cintas u otro medio, a fin no permitir el ingreso a personas, ni el arrojado de basura o desmonte en las cárcavas de este sector.
4. Sellar las grietas del cuerpo del deslizamiento para evitar la infiltración de aguas, el material usado para el sellado deben ser arcillas.
5. Controlar la infiltración de aguas domésticas en el terreno, mediante la construcción de zanjas de drenaje impermeables, que deriven las aguas a la quebrada más cercana.
6. Implementar planes de reforestación en la vertiente coluvio-deluvial de margen izquierda del río San Jorge para evitar el avance retrogresivo de las cárcavas identificadas.
7. Realizar obras de control integral de erosión de cárcavas. Ver Anexo 2.
8. No construir viviendas u otro tipo de infraestructuras en la margen izquierda del río San Jorge (sector Chacapunta) por ser una zona inestable.
9. Modificar el trazo de carretera actual que conecta los distritos de Lucma y Sayapullo, en el sector de Chacapunta, realizando estudios previos geotécnicos correspondientes. La carretera debe incluir cunetas y badenes en las zonas que lo requieran.
10. Proponer nuevas áreas de reubicación, las cuales deben contar con estudios de peligros geológicos.
11. Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos, para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de peligro. El Ingemmet puede participar en lo referente a peligros geológicos.
12. Todas las medidas correctivas estructurales, deben ser planificadas y elaboradas por especialistas.

- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1966). Landslide types and process, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washinton D. C., National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75.
- Cossio y Jaén (1967). Geología de Puemape, Chocope, Otuzco, Trujillo, Salaverry, y Santa. INGEMMET. Boletín N°17. Serie A: Carta Geológica Nacional, n. 26, 172 p.
- Medina, L., Luque, G. & Pari, W. (2012) – Riesgo geológico en la región La Libertad. INGEMMET, Boletín, Serie C: geodinámica e Ingeniería Geológica, 50, 233º.,9mapas
- Medina, L., Luque, G. & Pari, W. (2012) – Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región La Libertad. INGEMMET, Boletín, Serie C: geodinámica e Ingeniería Geológica, 50, 233º.,9mapas
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2012). Reglamento Nacional de Edificaciones. Actualización de las Normas de Técnicas de Edificación CE. 020 “Estabilización de suelos y Taludes”). Publicado en El Peruano, 09 de noviembre del 2012.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Colombia. 541 p.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176, Pág. 9–33.
- Villota, H. (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. España: Instituto Geográfico Agustín Codazi.
- Vílchez, M. Ochoa, M.& (2019) - Peligro geológico en la región Ica. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 67, 218 p, 9 mapas.

ANEXO 1: GLOSARIO

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

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

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

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

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

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 (figura 50). 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.

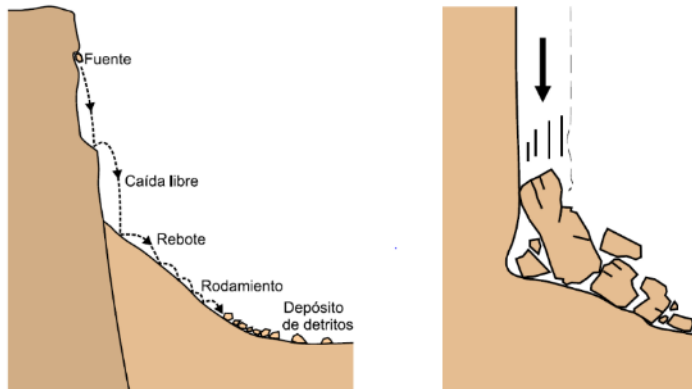


Figura 50. Esquema de un derrumbe (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

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 riego (figura 51).

La erosión hídrica causada por el agua de lluvia abarca los siguientes procesos:

SALTACIÓN PLUVIAL: El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino, el impacto compacta el suelo disminuyendo la permeabilidad e incrementa escorrentía. Escorrimento superficial difuso: comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimulan el escurrimiento del agua arrastrando finos.

ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL CONCENTRADO: se produce en dos formas, como surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños), formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados; y como cárcavas, que son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia. El proceso se da en cuatro etapas:

- a) entallamiento del canal, b) erosión remontante desde la base, c) cicatrización y d) estabilización (Duque et al, 2016).

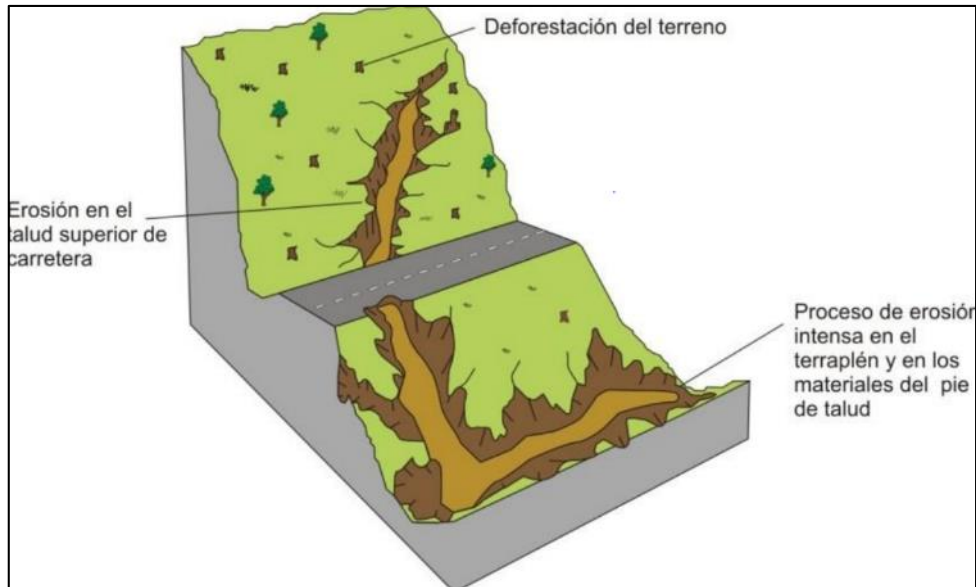


Figura 51. Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

ANEXO 2: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Las medidas de prevención y/o mitigación que se recomiendan a las autoridades pueden ser utilizadas en forma independiente o combinada, según las características de cada talud. Dichas técnicas dependerán de un estudio geotécnico a detalle realizado por un especialista en geotecnia.

ZONA PROPUESTA PARA REUBICACIÓN

Se ha planteado una zona de reubicación del sector Chacapunta ubicada a 7.5 km al este del poblado actual, para ello se debe considerar las siguientes características y obras a seguir

- En el terreno se debe construir drenajes pluviales para evitar la infiltración de agua al subsuelo, hay que tener en cuenta que las rocas que conforman el terreno son de mala calidad.
- El futuro sistema de desagüe de aguas servidas debe planificarse y hacerse antes que la zona de reubicación sea habitada.
- Realizar un estudio de suelos, para determinar los tipos de edificaciones que se van a realizar.
- Reforestar las zonas aledañas al área de reubicación y la zona de erosión de laderas. Esta actividad se debe realizar con la finalidad de no romper la estabilidad del terreno.
- Por ningún motivo la planificación urbana debe de orientarse a la zona de erosión y del deslizamiento



Figura 52. Zona propuesta para reubicación

MEDIDAS PARA CONTROLAR LAS EROSIONES EN CÁRCAVAS

Las erosiones en cárcavas generan abundantes materiales sueltos que son llevados a los cauces de las quebradas. Muchos de estos cauces tienen suficiente material como para la generación de flujos.

Las zonas donde existen cárcavas de gran longitud y presenten un desarrollo irreversible, donde no se pueden corregir con labores de cultivo, se debe prohibir terminantemente cualquier actividad agrícola. El control físico de zonas con procesos de carcavamientos debe de ir integrado a prácticas de conservación y manejo agrícola de las laderas adyacentes por medio de:

- Regeneración de la cobertura vegetal.
- Empleo de zanjas de infiltración y desviación entre las principales.

Para el control físico del avance de cárcavas se propone un conjunto de medidas, principalmente de orden artesanal, entre las que destacan (figuras 54-55):

- 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.
- Zanjas de infiltración articuladas de acuerdo a las condiciones climáticas de la región.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figura 54), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.
- Realizar trabajos de reforestación de laderas con fines de estabilización. En la selección de árboles debe contemplarse las características de las

raíces, las exigencias en tipo de suelos y portes que alcanzarán versus la pendiente y profundidad de los suelos. También se recomienda que las plantaciones se ubiquen al lado superior de las zanjas de infiltración, con el objetivo de captar el agua y controlar la erosión.

- Evitar el relleno de cárcavas con basura o desmonte.

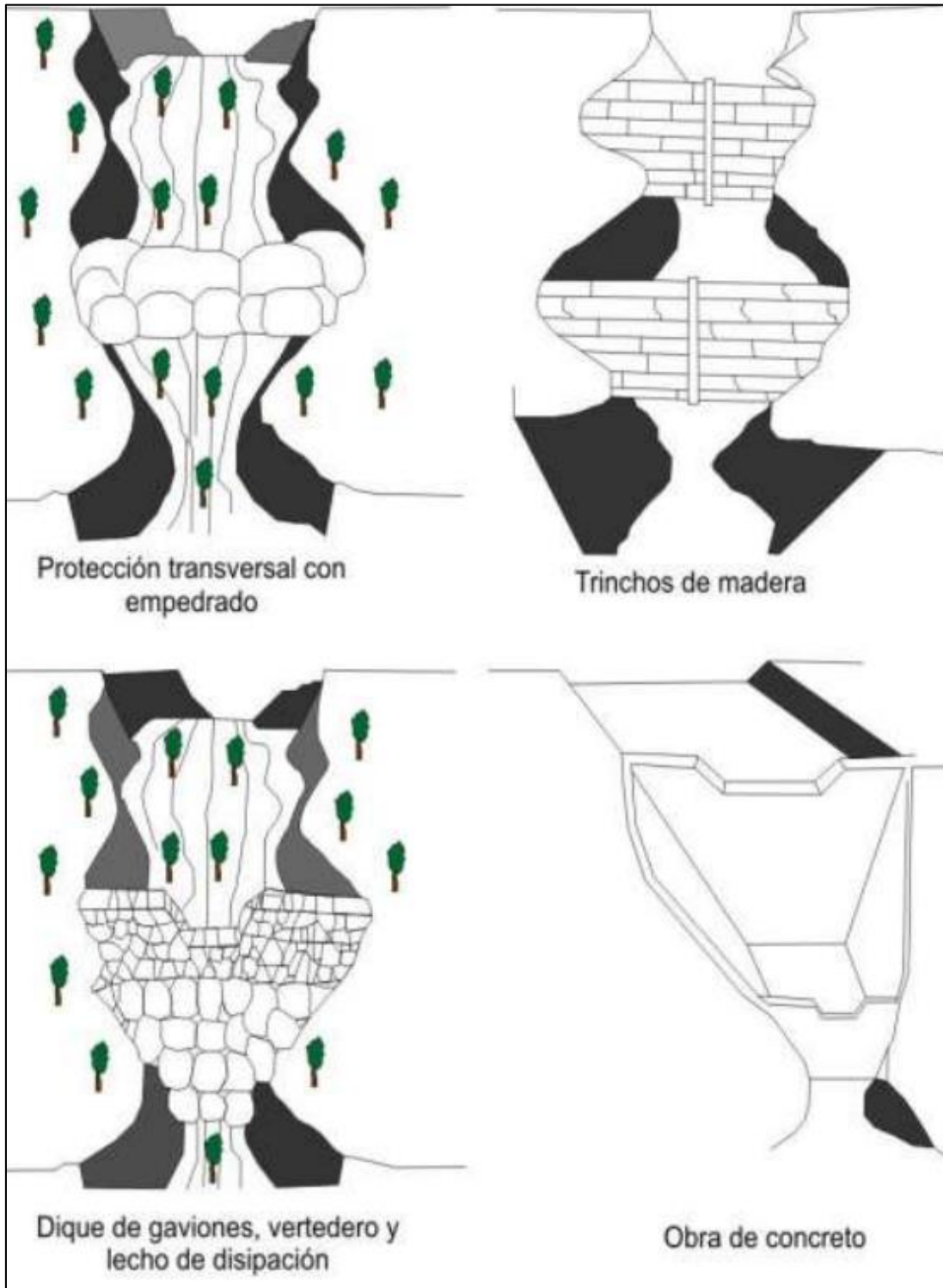


Figura 53. Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas (CENICAFE, 1975)

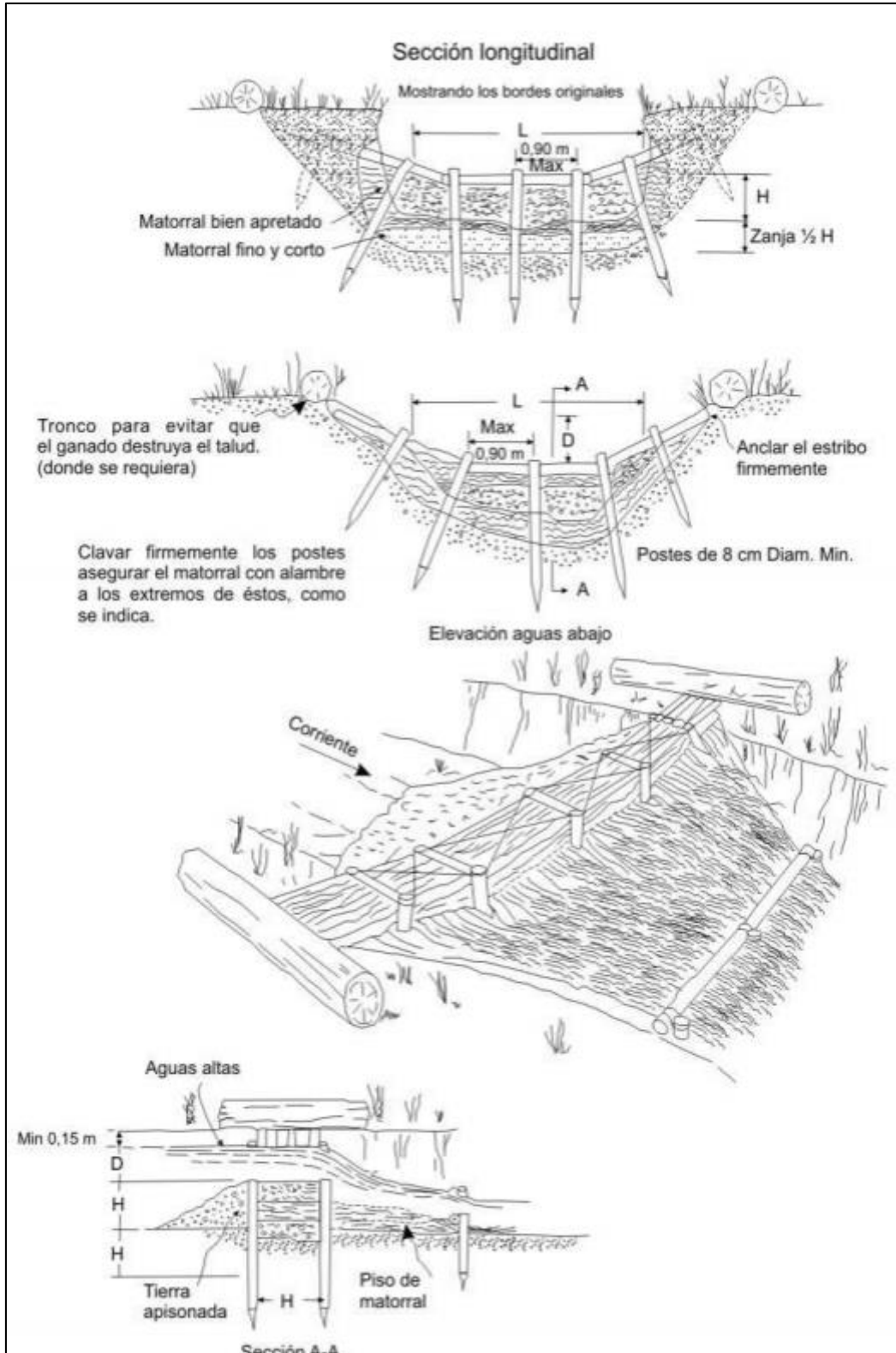


Figura 54. Presa de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

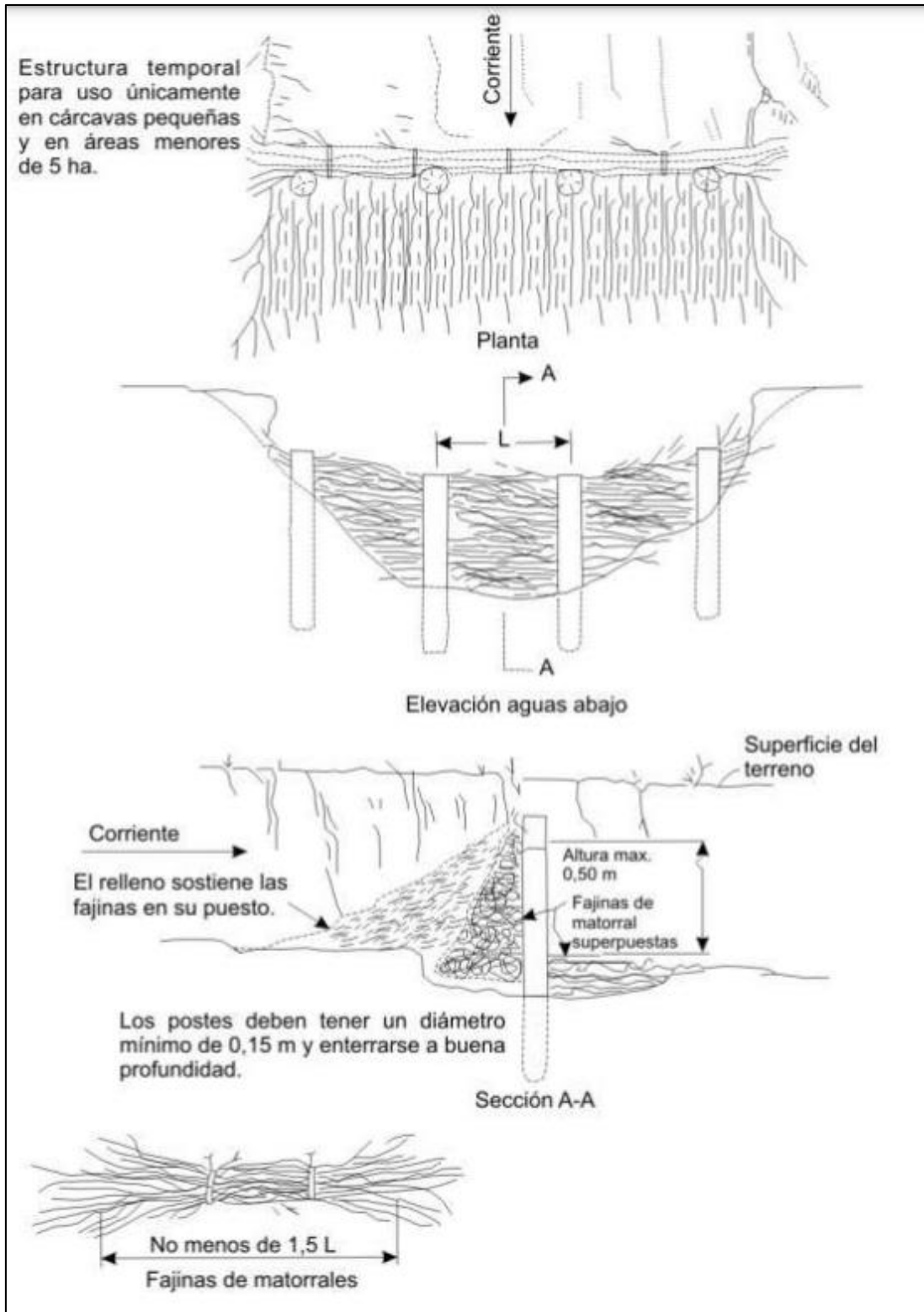


Figura 55. Presa de matorral tipo doble hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

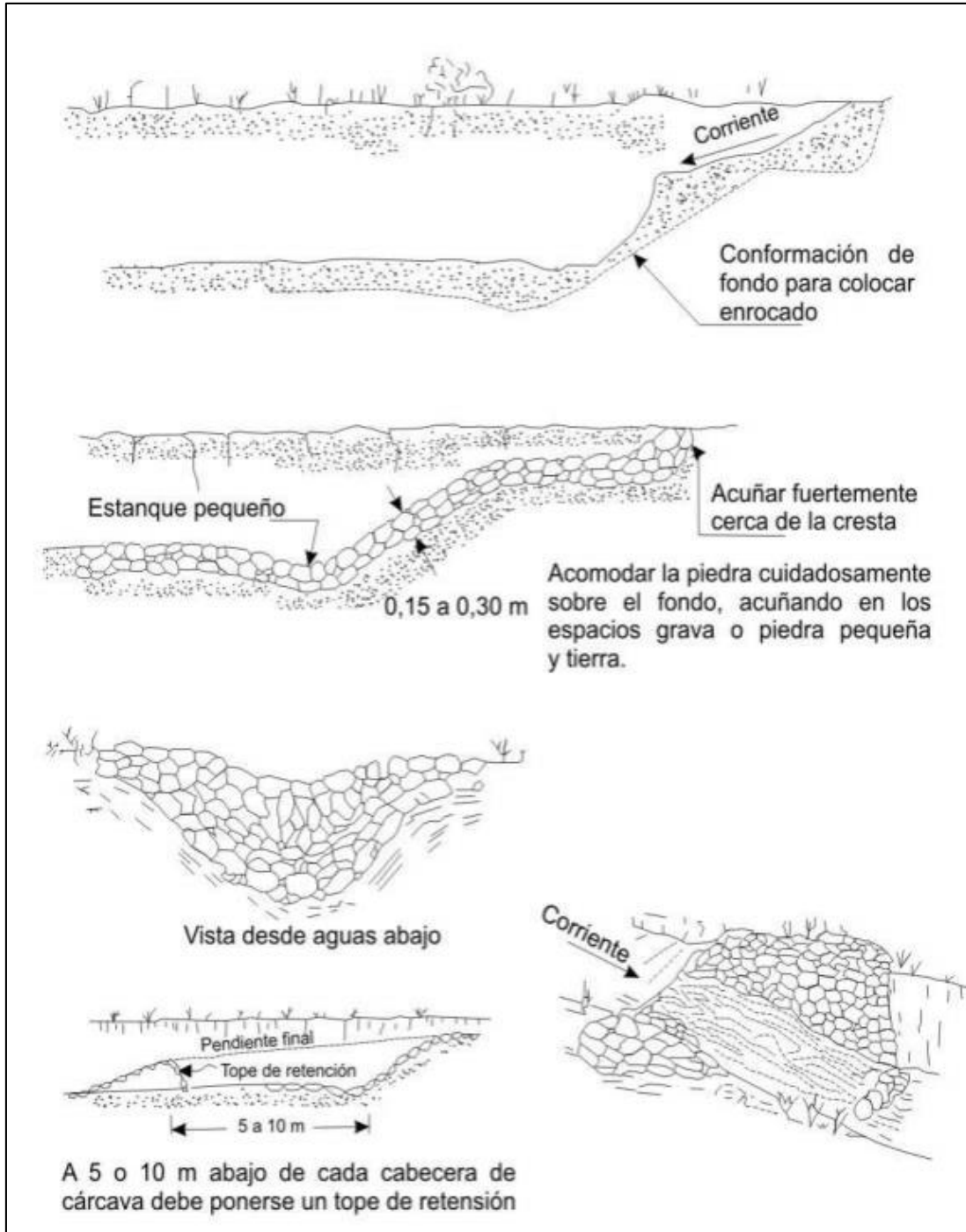


Figura 56. Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de mina (adaptado de Valderrama et al., 1964).