

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR LLAGAPAGANA, CASERÍO LA COLPA

Región Cajamarca
Provincia Cajamarca
Distrito Jesús



INDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES.....	2
3. ASPECTOS GENERALES.....	3
3.1. Ubicación.....	3
3.2. Accesibilidad.....	3
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS	3
5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	4
5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	5
5.2. Mapa de Pendientes	5
5.3. Unidad de Montañas y Colinas.....	5
5.4. Unidad de piedemonte	7
5.5. Unidad de Abanico	7
6. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS.....	9
6.1. Definición de deslizamientos y caída de rocas.....	9
6.2. Erosión de laderas (cárcavas).....	10
6.3. Deslizamientos en el sector Llagapagana.....	12
6.4. Caída de rocas	14
6.5. Erosión de laderas (Cárcavas)	16
7. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS.....	17
7.1. Factores condicionantes	18
7.2. Factor desencadenante.....	19
8. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS.....	20
8.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía	21
8.2. Medidas estructurales para control de cárcavas	21
CONCLUSIONES	26
RECOMENDACIONES.....	27
REFERENCIAS.....	28

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL SECTOR LLAGAPAGANA, CASERIO LA COLPA (Distrito de Jesús, Provincia y Región Cajamarca)

RESUMEN

La zona conocida como Llagapagana se ubica a 1.4 km al suroeste del sector La Colpa, perteneciente al distrito de Salas, provincia y región Cajamarca, el predio designado para expansión urbana es afectado por procesos de erosión en cárcavas, por presentar suelos poco consolidados, estos procesos se activan en temporadas de lluvias, como las sucedidas en el periodo del Niño Costero.

Litológicamente se ubican areniscas con intercalaciones de arcillitas pardo amarillentas, que al estar expuestas a procesos de meteorización dan origen a una cobertura cuaternaria susceptible a erosión.

La roca se encuentra fracturada, originando bloques angulosos, con diámetro de hasta 2 m, que se desprenden (caída de rocas) formando depósitos que se ubican en la parte media y baja de la ladera.

Se tienen suelos tipo arcillo-arenoso con limo de aspecto rojizo y amarillento, de fácil remoción en presencia de agua de escorrentía en temporada de lluvias.

El área de estudio se ubica sobre una colina sedimentaria con pendientes suaves, base amplia y coberturas aluviales de naturaleza arcillosa, la superficie se encuentra intensamente erosionada por cárcavas profundas, que descienden hasta formar la quebrada la Colpa, mientras que, otras descienden con dirección al predio Llagapagana. La colina en roca sedimentaria limita al suroeste con montañas en rocas sedimentarias (conformadas por areniscas). Localmente la geomorfología es variable, las laderas presentan pendientes medias a altas entre 5 a 20°; mientras que las montañas, al sur, superan los 35°, laderas donde se originan los procesos de erosión y caída de rocas.

Los factores mencionados, son los condicionantes para la generación de procesos de movimientos en masa de tipo deslizamientos, flujos, caídas de rocas; así como procesos de carcavamiento que se activan en la temporada de lluvias (diciembre a marzo). Esto genera flujos (huaicos) que descienden por las cárcavas, hasta llegar cerca al sector la Colpa.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), con el objetivo de contribuir con el desarrollo sostenible del país en el ámbito geológico, realizó la evaluación técnico científica de Peligros Geológicos en el sector Llagapagana, con la finalidad de determinar los tipos de movimientos en masa y las zonas susceptibles a la ocurrencia de nuevos procesos, la zona se proyecta como un área de expansión urbana en donde se debe asegurar la seguridad física de la futura infraestructura.

Se ha determinado que la geodinámica de la zona, actualmente se encuentra en estado inactivo, pero cambia completamente a activa, ante lluvias intensas, esto afectaría a las futuras construcciones de la zona de expansión urbana planificada, es necesario tomar las medidas correctivas.

Finalmente, este informe describe algunas medidas correctivas para mitigar los daños causados por los procesos geodinámicos en la zona.

1. INTRODUCCIÓN

En el año 2017 el Perú fue golpeado por lluvias intensas acompañadas de un incremento de las temperaturas del mar en la costa peruana, la relación entre las precipitaciones en la costa al norte y centro del país y el proceso de calentamiento propio del “Niño” fue denominado como “Niño Costero”, término introducido formalmente por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). Estas condiciones climáticas produjeron inundaciones debido al desborde de los ríos y quebradas que afectaron extensas áreas en los relieves llanos y deslizamiento y flujos de lodos en la parte media de las cuencas.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), brinda a los gobiernos regionales y locales asistencia técnico científica a través de la evaluación de Peligros Geológicos de zonas críticas expuestas a estos tipos de procesos geodinámicos. Es así que, la Municipalidad Distrital de Jesús solicitó mediante Oficio N° 063-2019-MDJ/GM la evaluación de peligros geológicos del sector conocido como Llagapagana con la finalidad de destinar la zona como área de expansión urbana.

El INGENMET y la DGAR designaron a los Ing. Cristhian Chiroque y Diana Vigo Becerra para realizar la inspección geológica, geomorfológica y geodinámica de los procesos de remoción en masa ocurridos en la zona de estudio. Mediante los trabajos de campo se identificaron los depósitos aluviales y afloramientos de rocas, las geoformas del relieve y los tipos de peligros geológicos. Esta información fue complementada con la recopilación de los antecedentes, descarga de imágenes satelitales que sirvieron para realizar la fotointerpretación de los eventos ocurridos en el sector Llagapagana.

Este informe detalla la interpretación geológica y geodinámica de los eventos estudiados, las conclusiones y recomendaciones que servirán a las autoridades solicitantes para tomar las medidas correctivas pertinentes.

2. ANTECEDENTES

Se han recopilado todos los informes y reportes que abarquen los aspectos geodinámicos de la zona de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba 15-f, 15-g, 16-g (Reyes, 1980). El estudio a escala regional abarca la zona sur de la región Cajamarca y se distribuye entre las provincias de San Marcos y Cajamarca, en la zona de estudio describe secuencias de la Formación Chimú conformada por areniscas, cuarcitas y lutitas. Al suroeste afloran calizas y lutitas de la Formación Santa y lutitas grises con areniscas de la Formación Carhuaz.
- “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca” (Zavala, B. & Rosado, M. (2011). En el informe se describe al sector Llagapagana como zona crítica afectada por erosión de laderas (cárcavas y surcos), que generan derrumbes, cara libre y a la vez flujos de detritos de naturaleza excepcional en cinco quebradas o cárcavas principales. Se distingue abanicos de flujos antiguos de gran dimensión.
- “Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca” (Zavala, B. & Barrantes, R; 2007). Este reporte describe la erosión de laderas como cárcavas y surcos entre los sectores Marapampa y Jesús.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación

El sector Llagapagana pertenece al distrito de Jesús en la provincia y región Cajamarca, el predio destinado para zona de expansión urbana se ubica a 1.4 km al suroeste de La Colpa (figura 01). Las coordenadas centrales del área de inspección con referencia al centroide del predio son WGS84-17S 780878E, 9200542N a una altitud promedio de 2920 m s.n.m.

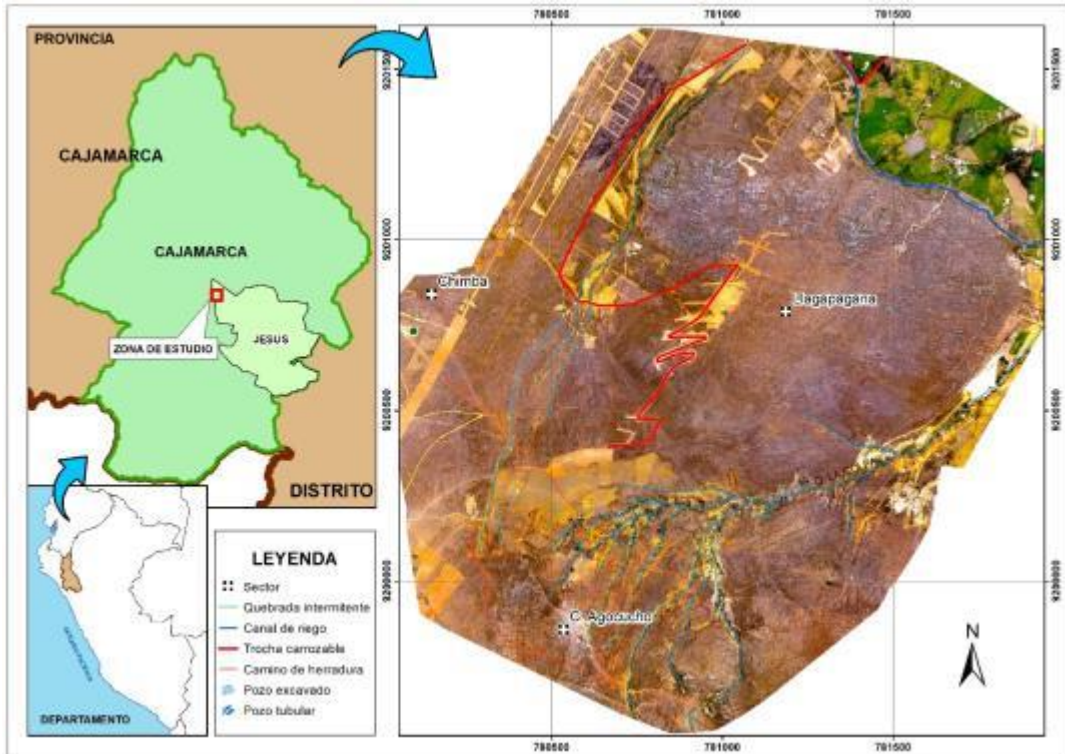


Figura 01. Ubicación de la zona de estudio Llagapagana.

3.2. Accesibilidad

El equipo de trabajo se trasladó desde la ciudad de Cajamarca con dirección sur hasta el distrito de Jesús con un recorrido aproximado de 11 km, tomando el desvío hacia la Hacienda La Colpa con dirección sur, desde aquí se asciende a la zona de estudio conocida como Llagapagana, el recorrido total se realiza en 40 minutos (Cuadro 01).

Ruta	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Cajamarca – Distrito de Jesús	Asfaltada	30 min
Desvío Hacienda La Colpa	Trocha carrozable	10 min

Cuadro 01. Itinerario de traslado a la zona de estudio.

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La zona de estudio se encuentra localizada al sur del cuadrángulo geológico de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g) a escala 1:100 000 (Reyes, 1980).

En la zona de estudio afloran areniscas de grano medio a grueso, arcillitas y cuarcitas blancas de la Formación Chimú, esta secuencia se encuentra fracturada y con intensa meteorización, forma farallones en la parte baja del predio Llagapagana.

Los depósitos aluviales recientes están conformados por una capa de arcillas limosas y arenas poco compactas de color amarillento a rojizo con espesores variables que no superan los 2 m. Las capas inferiores constituyen depósitos aluviales de arenas limosas con gravas y clastos angulosos a subredondeados con bloques dispersos cuya génesis obedece a eventos aluviales como flujos de lodo y detritos que fueron modelando la geología y geofomas del presente (figura 02).

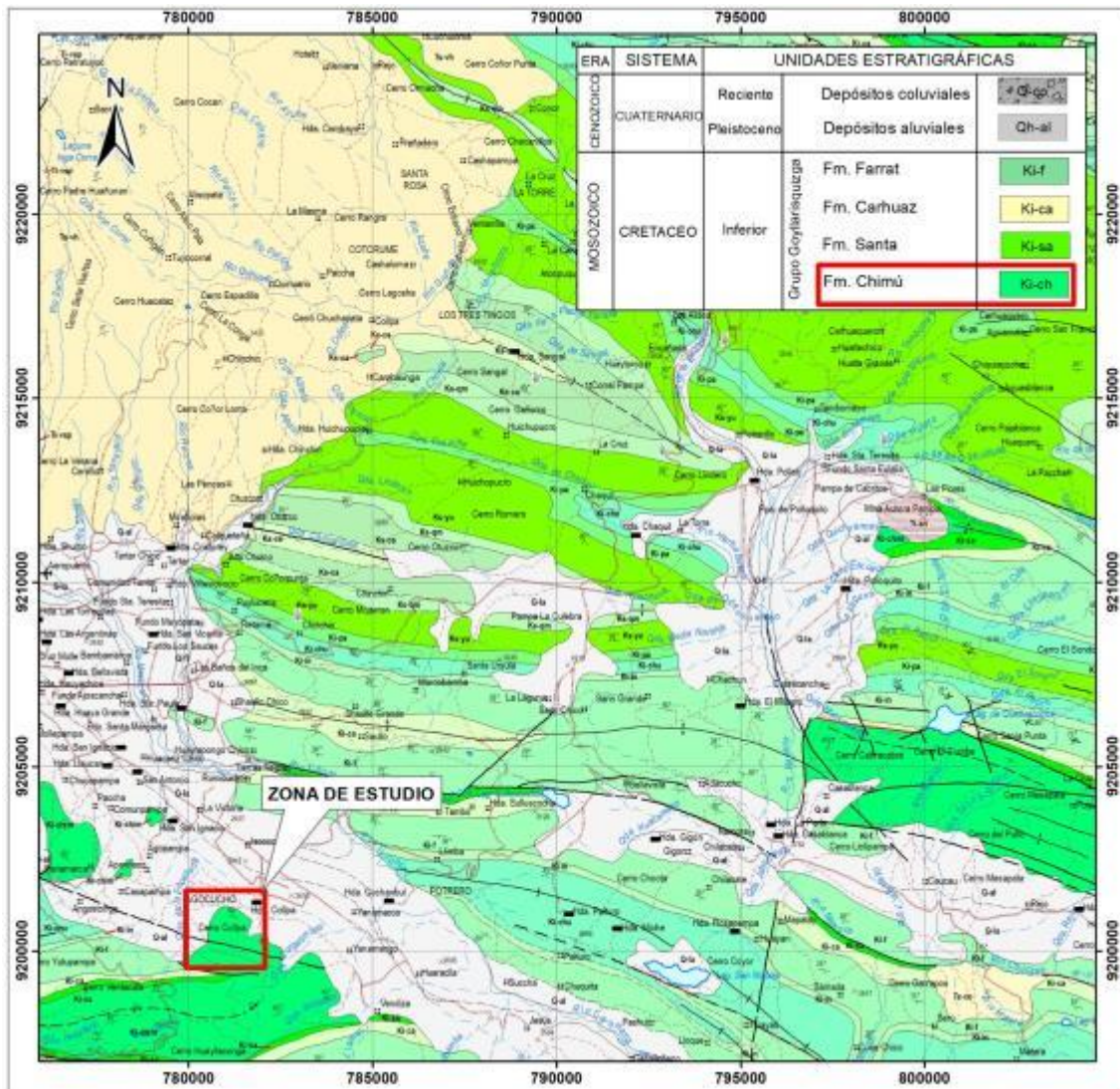


Figura 02. Geología a escala regional del cuadrángulo de San Marcos y la zona de estudio próxima al sector La Colpa.

5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

Las unidades geomorfológicas presentes en la región son variables, y su relación está ligada a procesos tectónicos, gravitacionales, deposicionales y erosivos, ocurridos a lo largo de su historia geológica. El origen de estos ambientes está muy ligado al proceso del levantamiento andino (profundización y ensanchamiento de valles), y asociados a eventos más recientes de desglaciación, movimientos en masa relacionados a eventos de El Niño, etc.

5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

La zona de estudio presenta elevaciones máximas y mínimas de 3220 m y 2640 m s.n.m, los procesos de carcavamiento inician a una altitud de 3100 m, mientras que, los flujos y las caídas de rocas se emplazan a media ladera con 2830 m s.n.m (figura 03). El predio Llagapagana se ubica sobre una colina que alcanza altitudes de 2930 m s.n.m.

5.2. Mapa de Pendientes

El predio Llagapagana se asienta sobre una colina con pendientes medias a bajas que no sobrepasan los 30°; mientras que, al sureste existen pendientes que superan los 35° debido al proceso de cárcavas que se concretan en suelos poco consolidados y que crea quebradas con paredes verticales a subverticales (figura 04).

Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

Fidel et al. (2006)

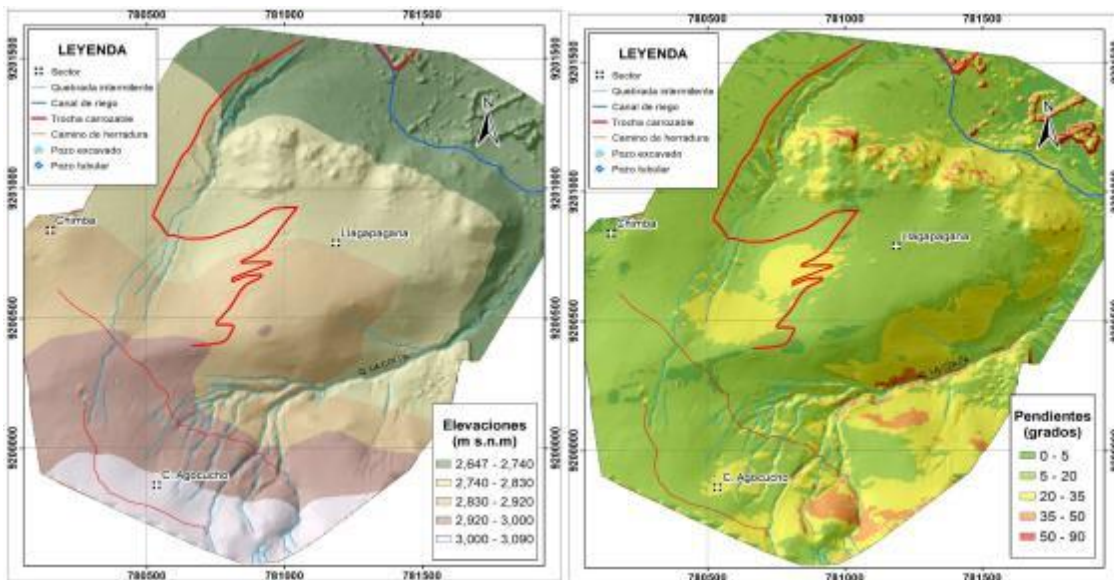


Figura 03. Modelo digital de elevaciones (MDE). Figura 04. Mapa de pendientes.

Según la geomorfología a escala regional contenida en el GEOCATMIN, la zona de estudio se asienta sobre una montaña y colinas en roca sedimentaria, rodeada al este y oeste por una vertiente o piedemonte aluvial y abanicos aluviales respectivamente (figura 09).

5.3. Unidad de Montañas y Colinas

Una montaña es una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas, presentan un pendiente promedio superior al 30%. Interviene una característica de disección de la masa montañosa, con importantes desniveles internos entre la montaña, como, por ejemplo: cañones, escarpes, lomas, planos inclinados coluviales (Glacis), vallecitos y superficies aplanadas (mesas) de antiguos relieves colindados (Zinck 1987, citado por MAGA 2010).

En cuanto a las colinas, según el Servicio Geológico de EE. UU., No existe una diferencia oficial entre colinas y montañas. El Reino Unido y los Estados Unidos solían definir colinas como cumbres de menos de 1,000 pies. Sin embargo, ambos países abandonaron la distinción a mediados del siglo XX.

Las colinas son porciones del relieve elevados por sobre la superficie que los rodea, tienen base y cima circular con relieves suaves, redondeados o semiredondeados, alcanzan poca altura con desniveles entre 20 y 300 m, tienen pendientes con rangos medios a bajos que no superan los 45°, morfometría que controla el tipo de drenaje. El origen de las colinas está ligado a diversos procesos como la erosión y depositación o estructuras geológicas tales como las fallas y pliegues (USGS, 2008)

a) Subunidad de Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria (RMCE-rs)

Esta geoforma se extiende al sur del área de estudio, presenta relieves escarpados con pendientes mayores a 30° y alcanzan elevaciones de 3200 m s.n.m, que se desarrollan sobre rocas sedimentarias conformadas por areniscas (figura 05). Las colinas se emplazan en la zona central del área de estudio con pendientes medias a bajas (figura 06).



Figura 05. Al sur del sector conocido como Llagapagana se encuentran montañas con pendientes medias a altas.



Figura 06. Colina sobre la que se ubica el predio Llagapagana.

5.4. Unidad de piedemonte

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía, las corrientes marinas y los vientos, los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

a) Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-lacustre (P-al)

Son depósitos recientes poco consolidados y susceptibles a la erosión, están conformados por arcillas arenosas con gravas y clastos angulosos a subredondeados de areniscas cuarzosas, se observan en los flancos verticales de las cárcavas y quebradas adyacentes a la zona de estudio (figura 07).

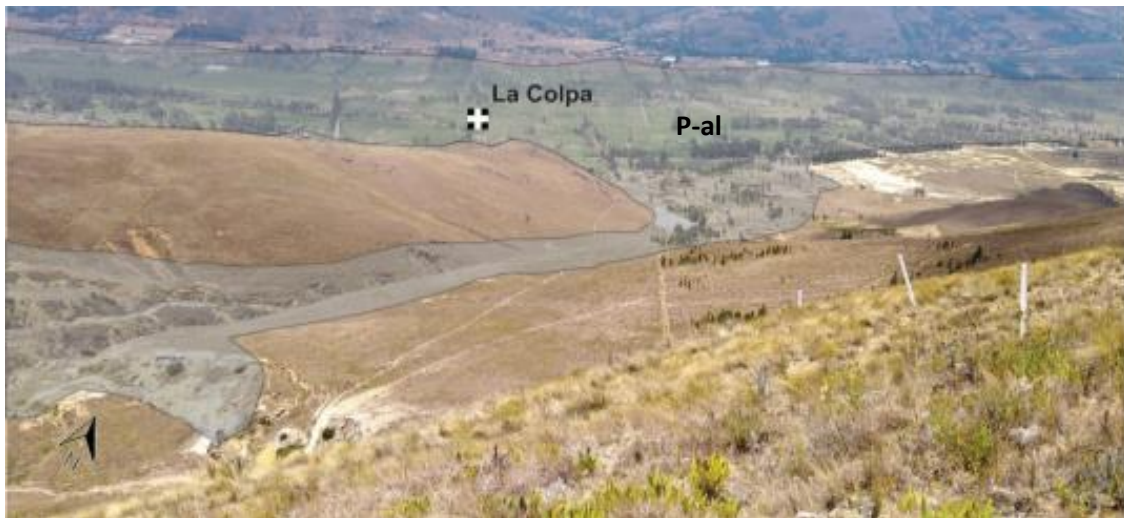


Figura 07. Vertiente o piedemonte aluvial que desciende por las quebradas y se emplaza hacia zonas con pendientes más bajas.

5.5. Unidad de Abanico

Los abanicos se originan cuando una corriente de sedimentos 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 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.

a) Subunidad de abanico de piedemonte (Ab)

Los abanicos aluviales de piedemonte se han emplazado desde las partes altas con la zona de transición entre las montañas con pendientes medias a altas mayores a 30° y las zonas as llanas con pendientes menores a 10°, estas zonas se encuentran al oeste de la zona de estudio (figura 08).



Figura 08. Abanico aluvial emplazado al oeste de la zona de estudio.

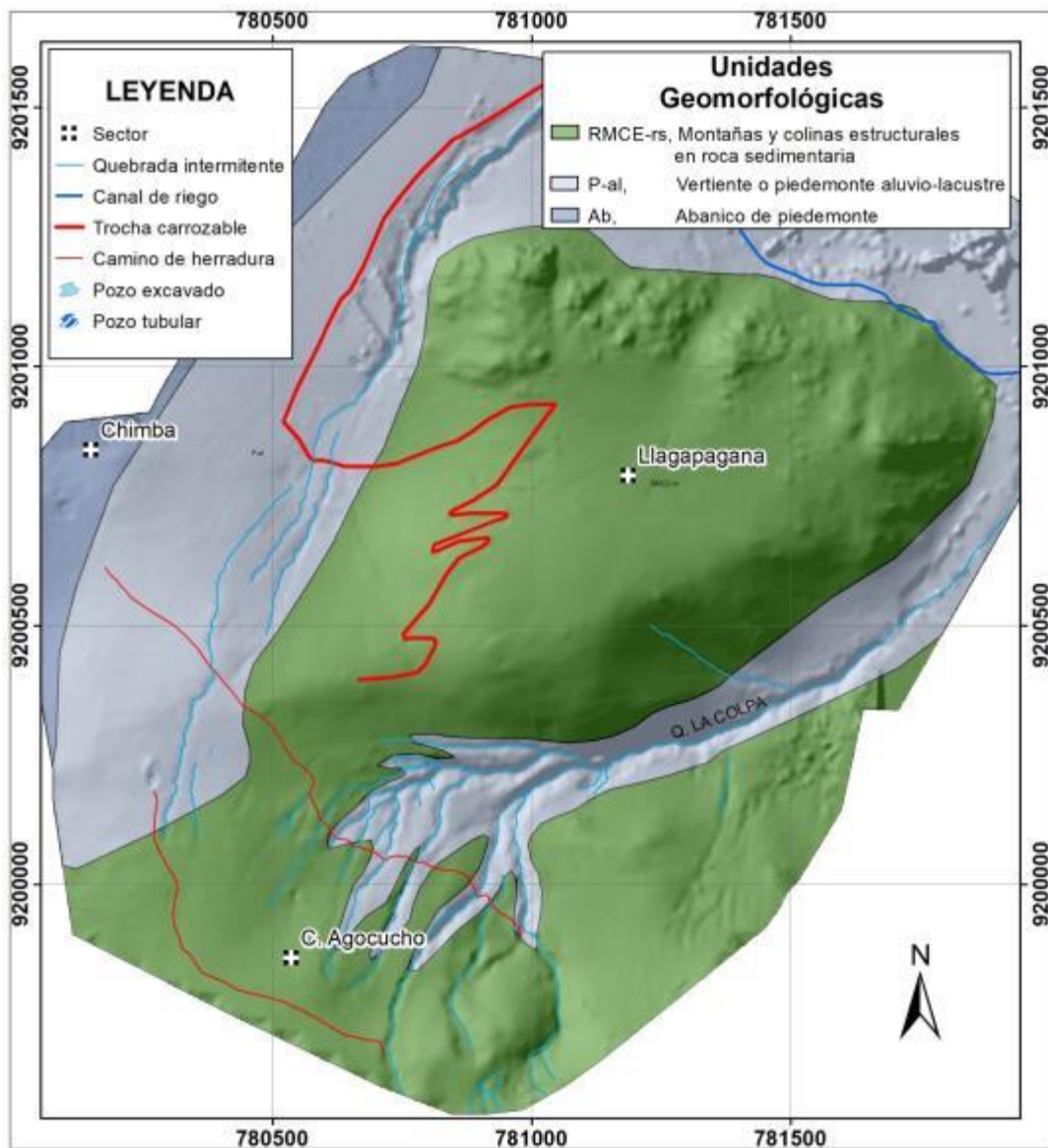


Figura 09. Geomorfología del sector Llagapagana.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS

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).

El INGEMMET como institución técnico científica realiza la cartografía geológica a nivel nacional y el estudio de los peligros geológicos tales como los procesos por remoción en masa que puedan afectar áreas urbanas, servicios, infraestructura, etc.

Se realizaron los trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas, ortofotos y modelos digitales de terreno (figura 13).

6.1. Definición de deslizamientos y caída de rocas

Según la Guía para Evaluación de Amenazas de Movimientos en Masa en la Región Andina (PMA, 2007), los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (figura 10).

Las caídas son los tipos de movimientos en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de la superficie de un talud, sin que a lo largo de esta ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire, pero con algunos golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de rocas o suelos (figura 11).

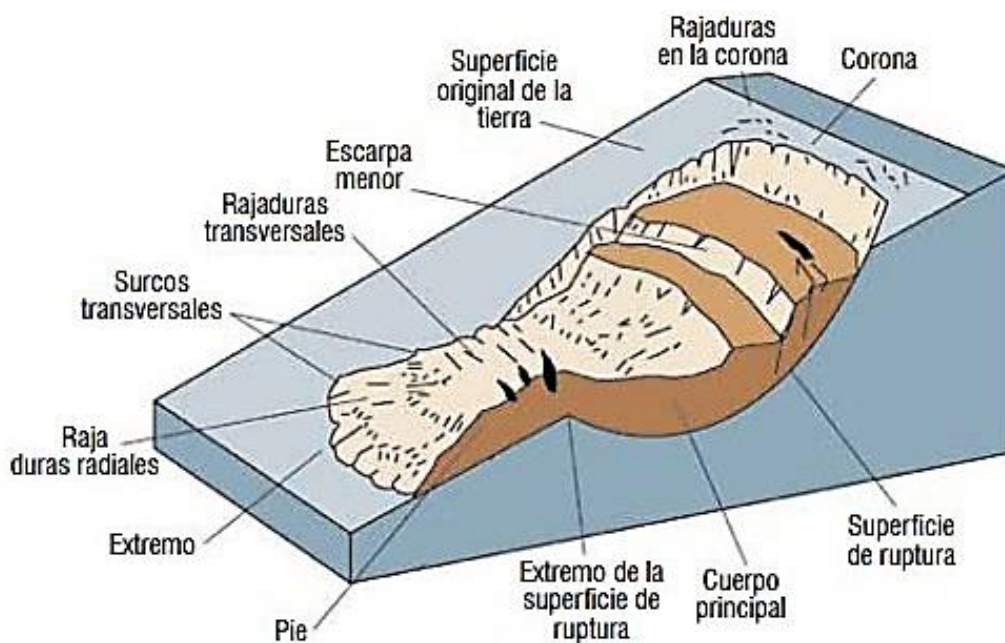


Figura 10. Deslizamiento de tipo rotacional, Adaptado de USGS (2008), GEMMA: PMA-GCA (2007).

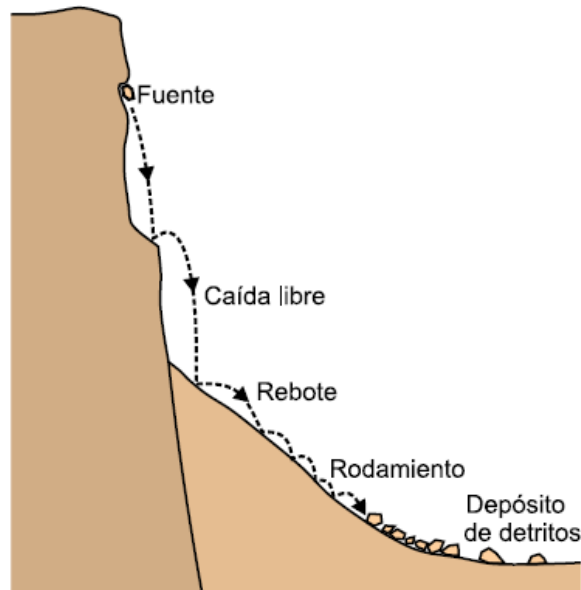


Figura 11. Esquema de caída de rocas (Varnes, 1978).

6.2. Erosión de laderas (cárcavas)

La erosión en cárcava consiste en el vaciado de las partículas del suelo o sustrato por un flujo concentrado que da lugar a estrechas incisiones de mayor tamaño y profundidad que un reguero, y que generalmente llevan agua solo durante e inmediatamente después de fuertes precipitaciones (Osterkamp, 2008).

En la mayoría de los casos este tipo de erosión se produce en suelos poco compactos con escasa cobertura vegetal y pendientes medias a altas, teniendo como forma precursora surcos poco profundos (figura 12).

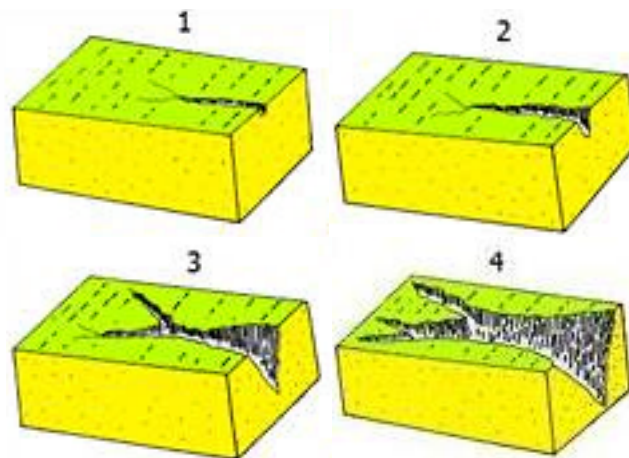


Figura 12. Evolución de una cárcava en cuatro etapas (Santiago, 2007).

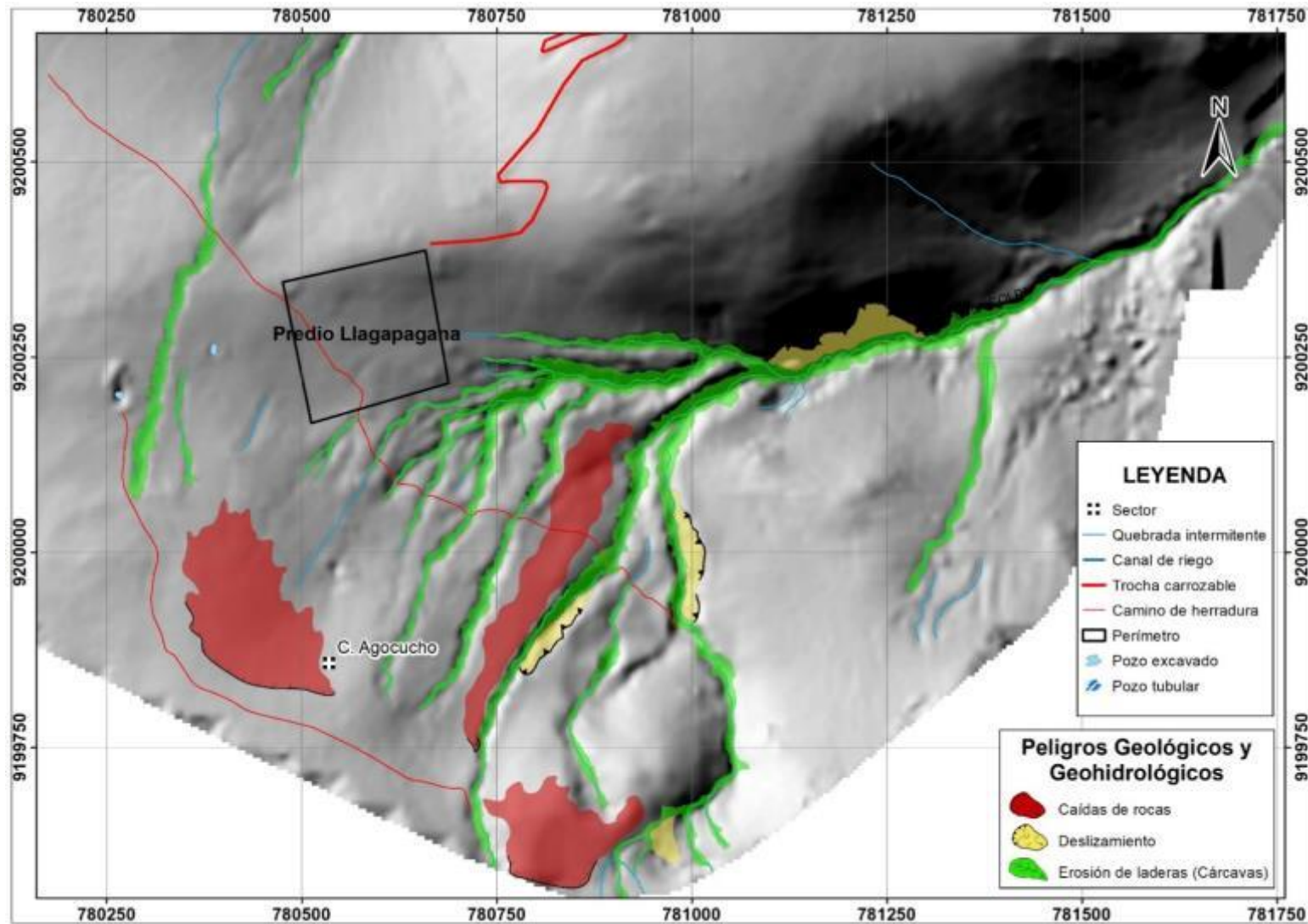


Figura 13. Mapa de Peligros Geológicos del predio Llagapagana sector La Colpa.

6.3. Deslizamientos en el sector Llagapagana

En los trabajos de campo se identificaron los procesos y factores condicionantes que intervinieron en la ocurrencia de movimientos en masa, definiendo las áreas y tiempos de desarrollo de estos eventos. A continuación, se detalla la caracterización geodinámica desde el punto de vista geológico y geomorfológico, así como, los factores desencadenantes de los deslizamientos.

El escarpe principal del deslizamiento se emplaza de forma paralela a la línea de erosión de las cárcavas, se divide en tramos cortos que alcanzan una longitud total de 98 m. Se han identificado grietas longitudinales o paralelas a la corona que se originan principalmente por tracción, estas podrían formar nuevos escarpes activados por lluvias intensas o sismos (figuras 14 y 15).

Para complementar los trabajos de campo se utilizó la ortofoto de alta resolución para delimitar con mayor precisión la geometría del deslizamiento y los escarpes.



Figura 14. Vista ladera abajo del deslizamiento próximo a la quebrada La Colpa.



Figura 15. Vista lateral del deslizamiento emplazado a media ladera adyacente a las cárcavas.

Este tipo de deslizamiento se origina debido a la pendiente subvertical a vertical que crea sobre la superficie el agua de escorrentía dando paso a las cárcavas, el material a

ambos flancos se sobresatura, pierde cohesión y finalmente se deslizan hacia el fondo de la cárcava y ladera abajo.

Para comprender la mecánica del origen, emplazamiento y mecanismo de los deslizamientos se generó un modelo digital de terreno (MDT) de alta resolución de donde se obtuvo un perfil transversal para la zona de deslizamiento (figuras 16 y 17).

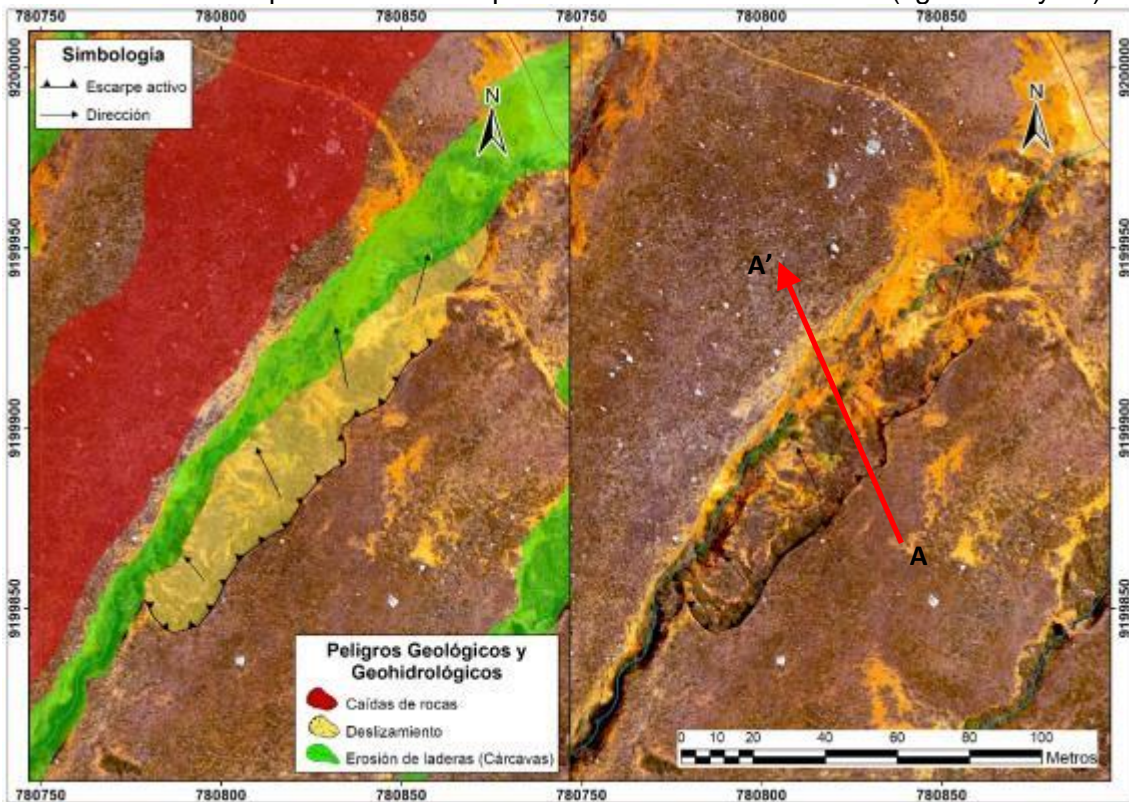
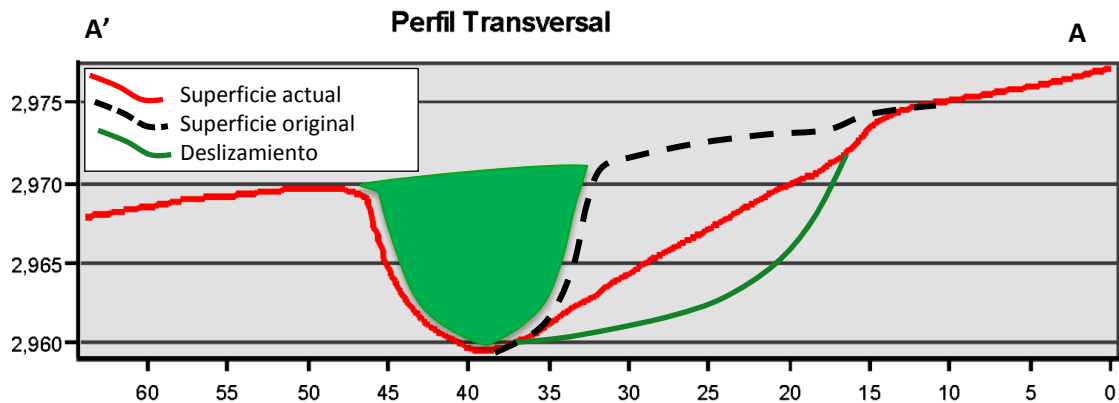


Figura 16. Ortofoto de alta resolución donde se delimitan el escarpe principal del deslizamiento y la dirección de emplazamiento.



Basado en MDT

Figura 17. Perfil transversal de una cárcava y la zona de deslizamiento.

Los materiales deslizados se depositan en el fondo de la cárcava, luego son transportados ladera abajo por corrientes de agua intermitentes cuya dinámica está ligada a la presencia de ciclos lluviosos; de continuar el proceso de erosión que va profundizando las cárcavas se pueden generar nuevos planos de falla lo que puede activar otros deslizamientos.

6.4. Caída de rocas

Se identificaron bloques de rocas angulosas a subredondeadas de diversos tamaños siendo los más grandes de hasta 4 m de largo, 2.5 m de ancho y 1.5 m de altura en promedio, se han depositado de forma dispersa por procesos de rodadura o rebote con dirección de sur a norte y de suroeste a noreste. Los bloques se han agrupado según la distribución en 3 grupos, ubicados al sur y sureste del predio Llagapagana (Figura 21).

a) Zona de caídas 01

Ubicados a 489 m del predio Llagapagana, agrupa un aproximado de 115 bloques de rocas, solo se realizó la cartografía de los bloques con tamaños mayores a 1 m de largo o ancho, estos se han depositado en una ladera limitada a ambos lados por cárcavas (figura 18).

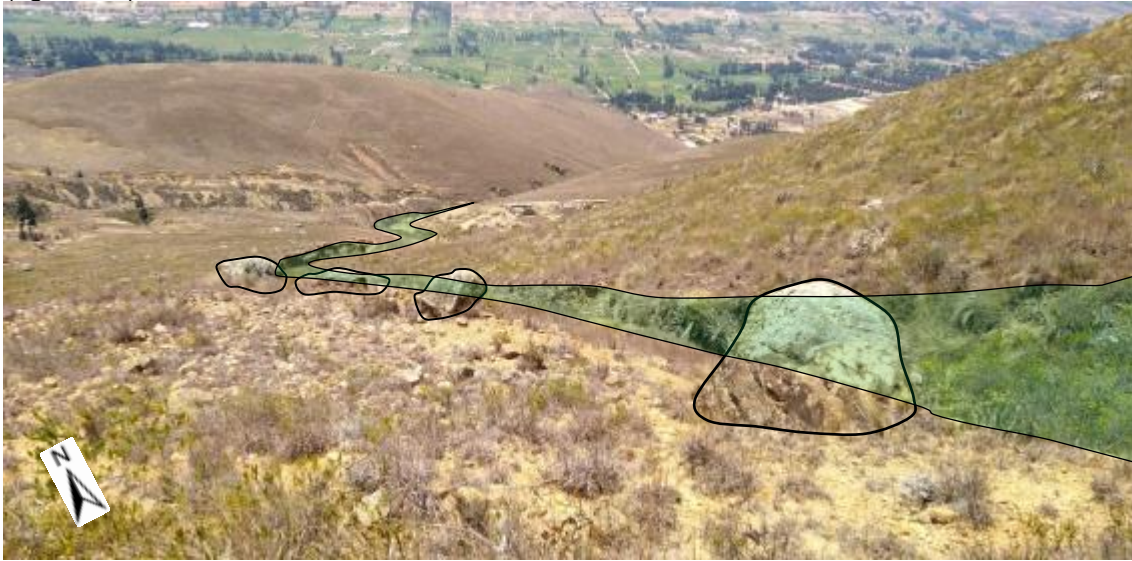


Figura 18. Bloques de rocas al borde de una cárcava.

b) Zona de caídas 02

Ubicados a 460 m al sur del predio Llagapagana, agrupa un aproximado de 81 bloques de rocas, estos no superan el 1.5 m de diámetro, sin embargo, si presentan una gran concentración de bloques que forman una cobertura detrítica (figura 19).



Figura 19. Zona de caídas próxima al predio Llagapagana.

c) Zona de caídas 03

Ubicados a 740 m al sureste está conformado por un aproximado de 114 bloques de rocas, el de mayor tamaño supera los 4 m de largo, 3 m de ancho y 2 m de altura, se presenta como la zona más crítica debido a las pendientes mayores a 35° (figura 20).



Figura 20. Los bloques de rocas de mayor tamaño se ubican en la zona 03.

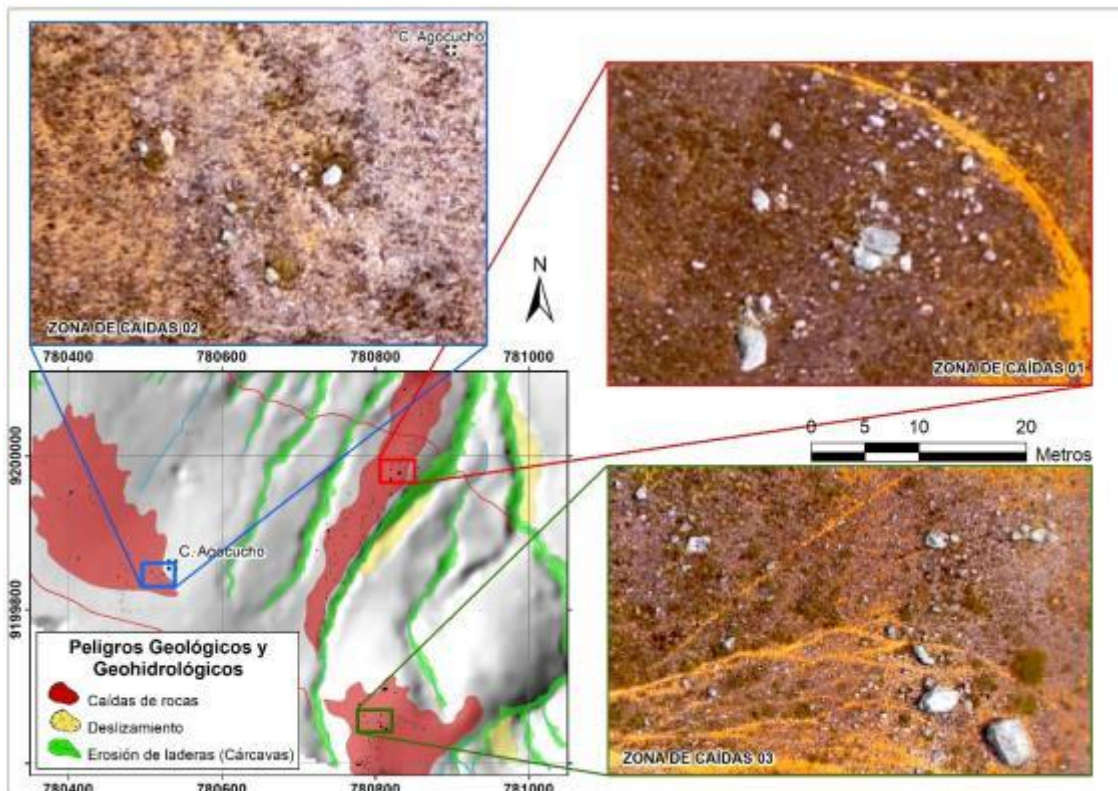


Figura 21. Grupo de bloques 01.

Debido a la intensa erosión que ocurre por la escorrentía superficial en temporada de lluvias algunos bloques han quedado colgados al borde de cárcavas, la activación de estas caídas de rocas puede deberse a sismos de media intensidad, flujos de detritos o actividad antrópica.

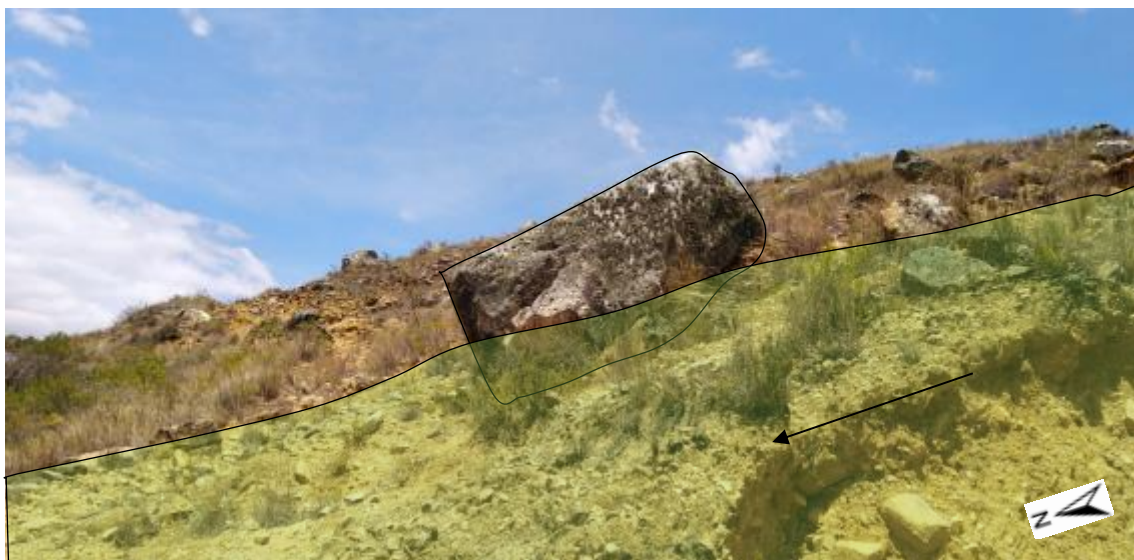


Figura 22. Los bloques de rocas se encuentran sobre superficies erosionadas por la escorrentía superficial.

6.5. Erosión de laderas (Cárcavas)

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y ausencia de prácticas preventivas de conservación.

El predio Llagapagana se ubica sobre materiales y sedimentos conformados por arcillas arenosas no compactas, superficies muy erosionables y con escasa vegetación. Donde se ha formado procesos de erosiones en cárcavas, que se han desarrollado en la parte alta de la ladera en las direcciones sur a norte, sur a sureste, con migración oeste a este, debido principalmente a la geomorfología del relieve.

La cárcava de mayor desarrollo tiene 22 m de ancho y 485 m de longitud, se ubica a menos de 100 m del perímetro del predio Llagapagana, esta alcanza hasta 3 m de profundidad (figura 23).



Figura 23. Cárcava próxima al predio denominado como Llagapagana.

Los factores que han condicionado el origen y desarrollo de las cárcavas son la escasa vegetación, la pendiente media y el tipo de cobertura aluvial, teniendo como factor desencadenante la escorrentía superficial, que proviene de la parte alta de la montaña y que se infiltra al subsuelo hasta saturar los sedimentos (figura 24).

La profundidad que alcanza la mayoría de las cárcavas, está en función del espesor de la cobertura aluvial erosionable, que está conformada por arenas limosas con presencia de gravas angulosas, en algunos cortes naturales se pueden observar hasta 5 m de profundidad, sin encontrar el techo o tope de un basamento rocoso de mayor dureza, que condicione el avance de las cárcavas (figura 25).



Figura 24. Vista de la ladera oeste del sector Llagapagana.



Figura 25. Vista del talud donde predominan materiales sedimentarios conformados por arenas limosas.

7. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

Los factores que influyen en la inestabilidad de laderas y posterior ocurrencia de movimientos en masa; están relacionados a los tipos de materiales y sedimentos que constituyen la cobertura reciente de la superficie, la pendiente y las geformas del relieve constituyen los factores condicionantes. Mientras que, las precipitaciones pluviales son consideradas el principal factor desencadenante de los procesos de remoción en masa.

A continuación, se determinan y describen los factores que intervinieron en la ocurrencia de los deslizamientos, caídas y procesos de erosión en la zona de estudio:

7.1. Factores condicionantes

a) Litología y depósitos Cuaternarios

Los tipos de rocas predominantes en la zona de estudio están conformados por areniscas intensamente fracturadas con intercalaciones de arcillitas y cuarcitas, esta condición litológica forma un medio poroso que configura un acuífero fracturado que almacena agua en presencia de lluvias, el agua fluye por las fracturas pendiente abajo hasta emanar en depósitos aluviales ubicados ladera abajo (figura 26).



Figura 26. Areniscas fracturadas donde se ubica el predio Llagapagana.

Cabe destacar que, 710 m al norte del predio Llagapagana existe una excavación de 12 m de ancho, 25 m de largo y 9 m de profundidad, que fue utilizada para la extracción de agua para fines de construcción. La granulometría observada in situ muestra capas heterogéneas de gravas angulosas de areniscas con matriz areno limosa intercaladas con capas clasto soportado (figura 27).



Figura 27. Materiales y sedimentos aluviales de limos y arenas.

El origen de estos depósitos se debió a eventos geodinámicos denominados como flujos de detritos o lodos que se emplazaron con diferentes grados de energía, la misma que estuvo relacionada a la cantidad de lluvia y agua con la que fueron transportados, la

mala clasificación de las gravas y clastos angulosos observados en las paredes de la excavación demuestran esta afirmación (figura 28).



Figura 28. Capas clasto soportadas de gravas angulosas.

b) Pendientes

La ladera sur desde donde descienden las cárcavas presentan pendientes medias de 20 a 35° en donde la velocidad de la escorrentía es media; mientras que, desde la progresiva 0+600 hasta 0+870 el predio Llagapagana tiene pendientes bajas menores a 10° en donde la escorrentía disminuye su velocidad dispersando los materiales, hacia el norte con dirección a la Hacienda La Colpa la pendiente se incrementa hasta llegar a 40°, hacia la parte final en la progresiva 1+500 se encuentra la excavación de 9 m de profundidad en donde se encontraron materiales con humedad media (figura 29).

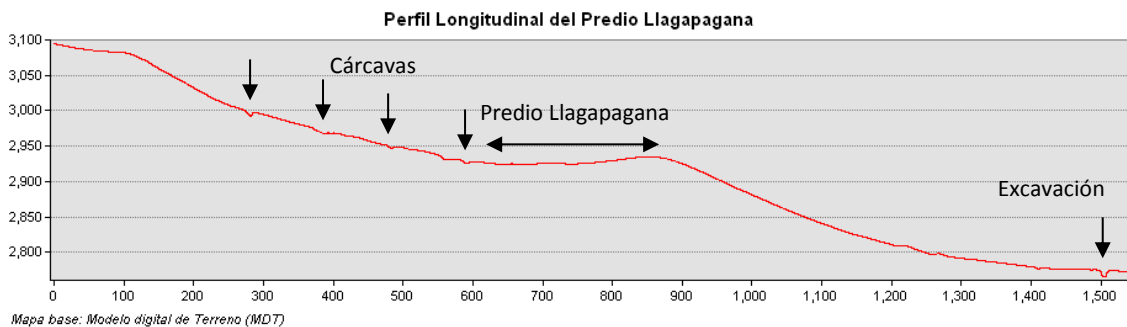


Figura 29. Perfil longitudinal de la zona de estudio.

7.2. Factor desencadenante

7.2.1 Precipitaciones pluviales

El fenómeno El Niño es el calentamiento de la superficie de las aguas del Pacífico que afectan directamente el Sureste Asiático, Australia y Sudamérica. Este se caracteriza por el ingreso de una masa superficial de aguas cálidas en el mar, desde el norte en el caso del Perú, y que genera un aumento de la temperatura del mar, afectando la pesca, además de intensas lluvias y también sequías.

En enero de 2017 las aguas de la costa peruana se calentaron rápidamente. Las tormentas costeras en las zonas bajas llevaron lluvias intensas a zonas de elevación mucho más bajas de lo normal. Los ríos y arroyos que suelen estar secos se inundaron

rápida. Episodios de lluvia constante, inundaciones y deslizamientos de tierra afectaron a muchos centros poblados, desde Ica hasta la frontera norte con Ecuador, prolongándose varios meses.

El periodo de diciembre 2016 a mayo del 2017 calificó formalmente como el “El Niño Costero” de magnitud moderada. Este evento presentó características y/o mecanismos océano-atmosféricos particulares, tanto a escala global como local (a diferencia de los eventos de 1982-1983 y 1997-1998); sin embargo, es comparable con el evento El Niño del año 1925 – 1926.

Para el periodo mencionado la zona de estudio registró hasta 55 mm mensuales entre los meses de diciembre 2016 a mayo del 2017, con picos máximos diarios de 15 mm según la Estación Meteorológica “La Victoria” ubicada a 4 km al norte de la zona de estudio (Cuadro 02).

Estacio : LA VICTORIA																																
Department :	CAJAMARCA					Provincial :	CAJAMARCA					Distrito :	LLACANORA																			
Latitude :	7°11'28.27" S					Longitude :	78°27'34.1" W					Altitude :	2630 msnm.																			
Tipo :	Convencional - Meteorológica										Código :	107035																				
AÑO	2016																															TOTAL MENSUAL
MES	DICIEMBRE																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	0	0	3.8	4	0	6.6	0	12	0.4	0.1	0.3	0	0	0.8	15	0	0	9.8	12	0	2.4	5	0	0	0	0.4	0.1	7.6	6.3	3.4	0	90
AÑO	2017																															TOTAL MENSUAL
MES	ENERO																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	0	0.3	0.1	0	6.4	1.5	1.9	5.4	0	0.1	0	2.6	11	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8	2.8	0.2	0	0	0	1	37.3
AÑO	2017																															TOTAL MENSUAL
MES	FEBRERO																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28				
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	2.7	2.3	5.3	16	5.4	0.2	0.1	2.3	4.1	8.7	0	0	0	0.9	2.1	0.2	0	0	0.5	0	0	0	0	0.3	0.6	2.1	1.2	0				55.4
AÑO	2017																															TOTAL MENSUAL
MES	MARZO																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	0.7	0.1	4.4	0	0	3	0.1	4.9	10	0	0	0	12	7.3	0.1	0	0	9.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3	0	0	0	0	55.5
AÑO	2017																															TOTAL MENSUAL
MES	ABRIL																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	0	0	2.4	9.3	0.2	3.1	3.1	1.4	0	9.4	9.3	0.3	0	0	0	0	0	0.3	5.4	1.7	0.1	6.3	0.4	0.5	0	4.3	0.1	0	2	0.6	60.2	
AÑO	2017																															TOTAL MENSUAL
MES	MAYO																															
DÍA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
PRECIPITACIÓN TOTAL (mm/día)	0	0.4	0	0	2.2	14	1.6	1.3	0.1	5.1	0	1.7	0	3.6	3	0	0	0	2.3	4.7	0	0.9	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0.8	41.7

Cuadro 02. Datos de precipitaciones pluviales durante el Niño Costero en la zona de estudio.

Fuente: SENAMHI / DRD

* Datos sin control de calidad.

Por los impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento “El Niño Costero 2017” se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú (IDESEP-SENAMHI, 2017).

8. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

La principal pérdida de suelo se origina debido al agua de escorrentía que produce una intensa erosión originando cárcavas y otros procesos de remoción en masa como deslizamientos y caídas de rocas que se desarrollan próximo al perímetro del predio Llagapagana. A continuación, se describen algunas propuestas generales para mitigar las zonas afectadas, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de eventos geodinámicos y deberán estar sustentadas en

estudios de ingeniería definitiva tales como la caracterización geológica, geofísica y geotécnica de las estructuras a cimentar.

8.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía

8.1.1 Canal de coronación

Las zanjas se ubican en la corona del deslizamiento o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente la escorrentía proveniente del agua de lluvia y evitar el paso a través del talud o ladera afectada. No debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes, las zanjas deben estar impermeabilizadas a fin de evitar la infiltración del agua hacia el subsuelo (figura 30).

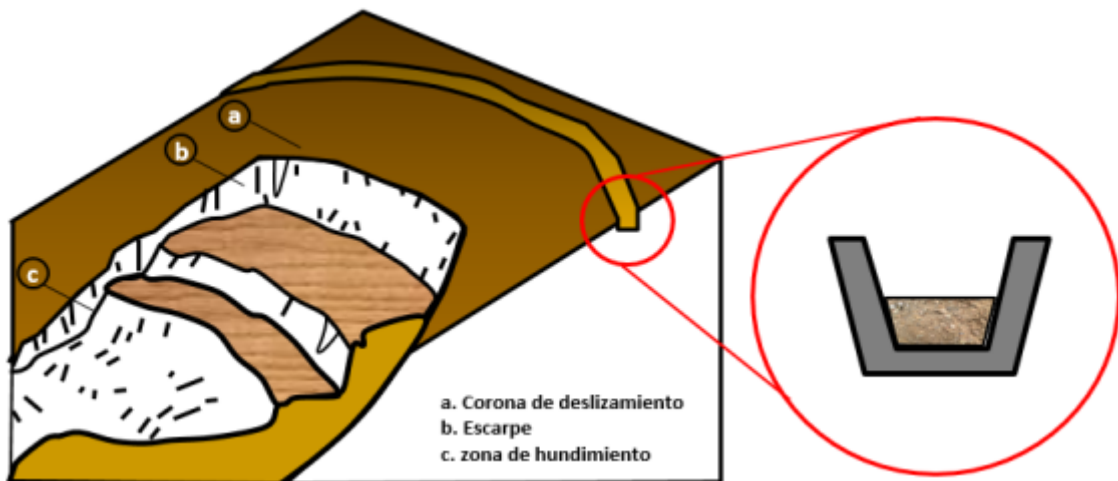


Figura 30. Esquema de zanjas de coronación o drenaje de deslizamiento.

8.1.2 Sistemas de drenaje dendrítico

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud, se deben de construir canales recolectores de forma dendrítica o también llamada espina de pescado que extraigan el agua de las zonas afectadas o susceptibles a deslizamientos, drenando o vertiendo le agua hacia el río o quebradas también revestidas, los canales deben de impermeabilizarse a fin de evitar la reinfiltración del agua (figura 31).



Figura 31. Esquema de drenaje dendrítico.

8.2. 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 del predio Llagapagana, 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 32), 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 33, 34 y 35).

- 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.

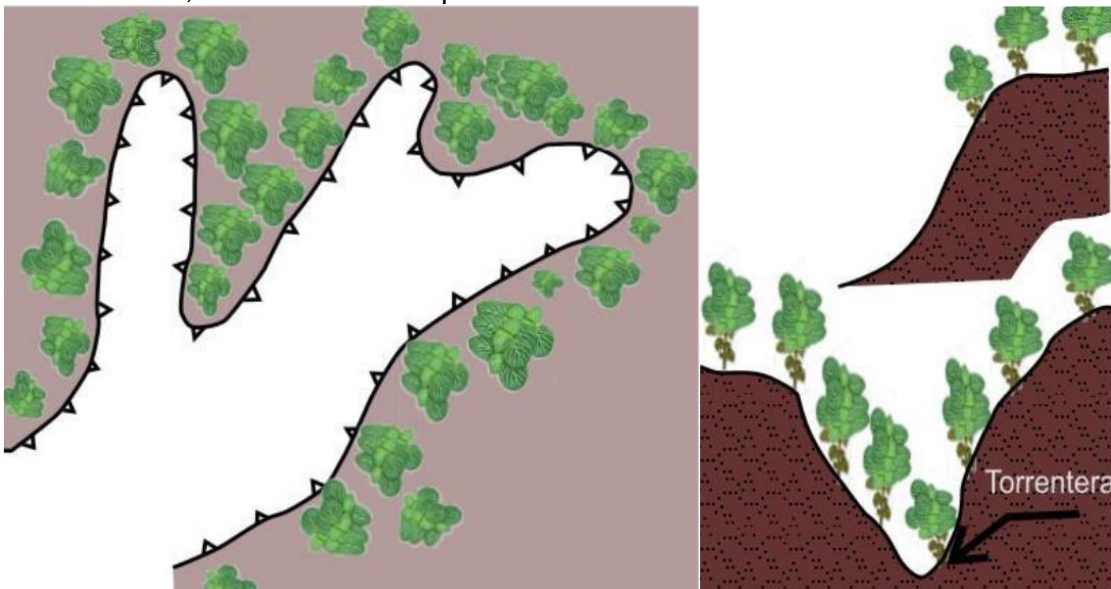


Figura 32. Vista en planta y perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

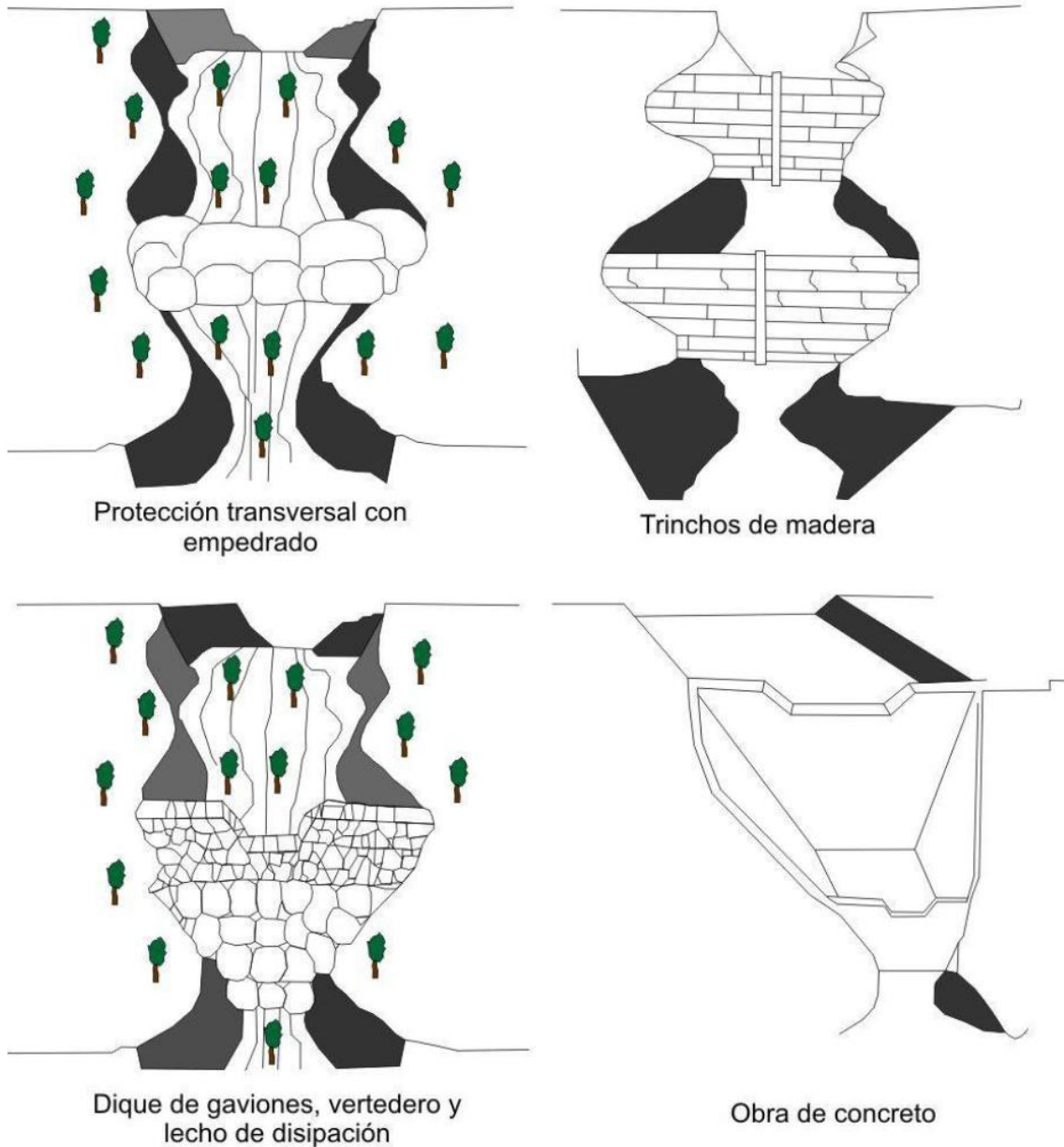


Figura 33. Obras hidráulicas transversales para el control de erosión en cárcavas.



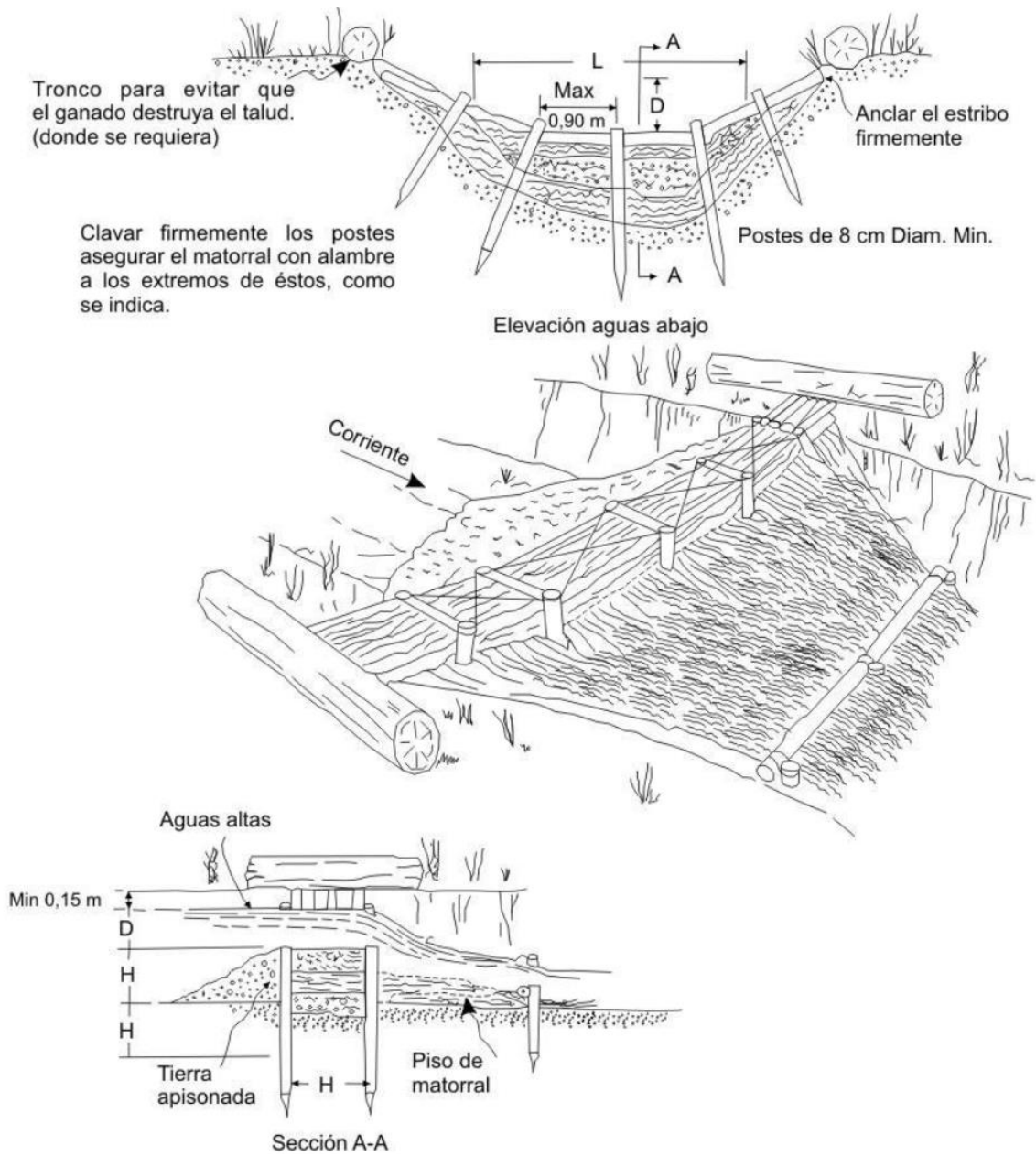
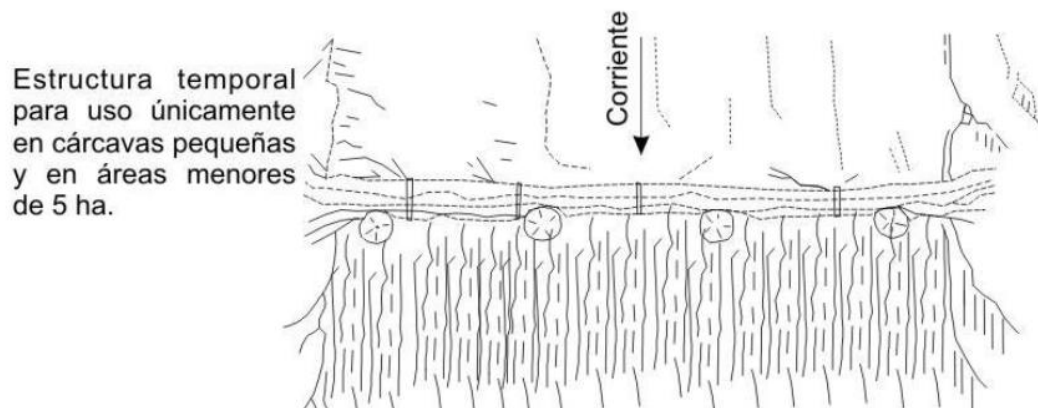


Figura 34. Presa de matorral tipo doble hilera de postes



Estructura temporal para uso únicamente en cárcavas pequeñas y en áreas menores de 5 ha.

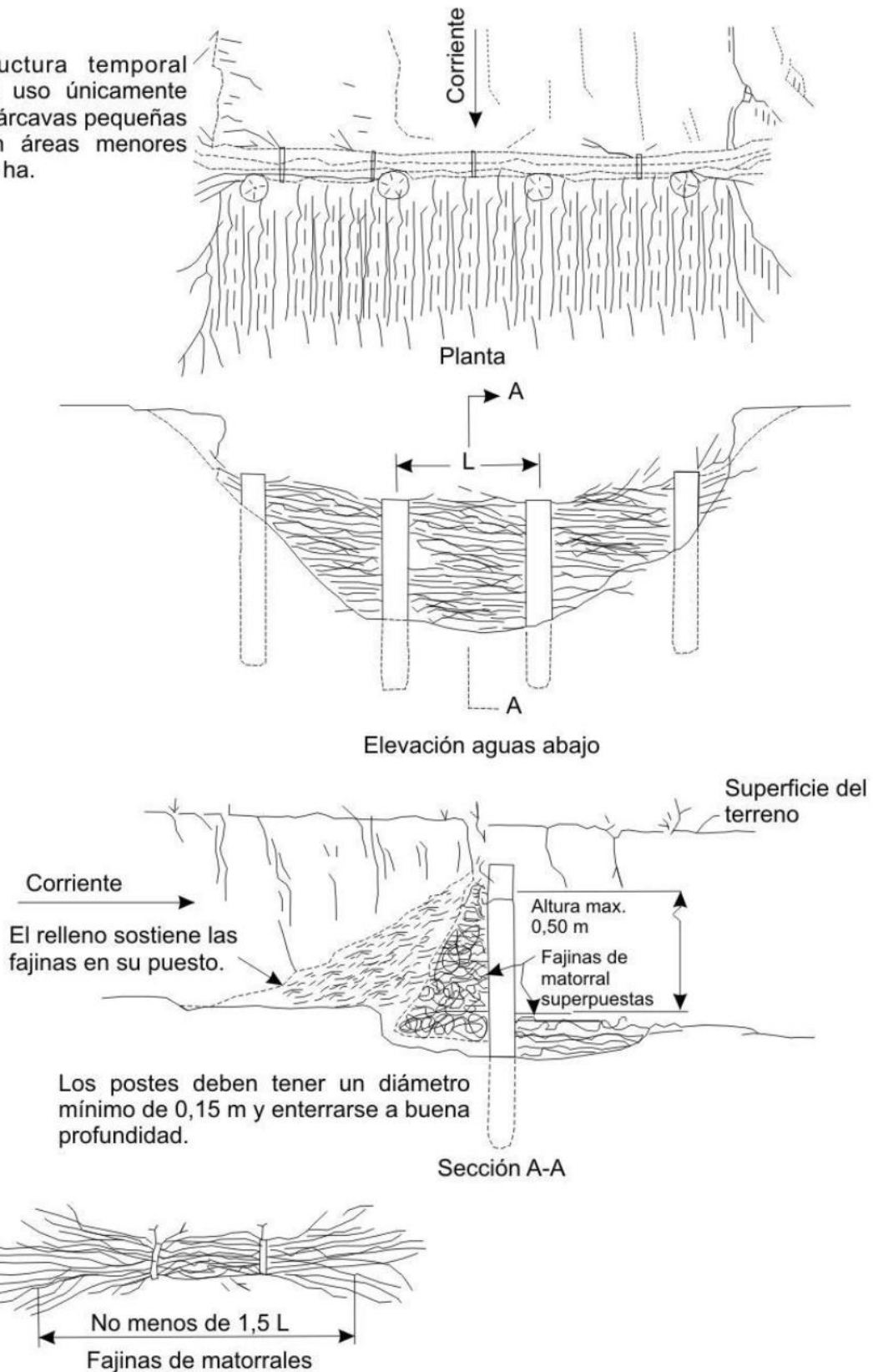


Figura 35. Presas de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

CONCLUSIONES

- a) La geomorfología de la zona de Llagapagana presenta montañas con pendientes mayores a 30° y colinas sedimentarias con pendientes suaves menores a 20° donde se ubica el predio Llagapagana. Hacia el este se emplaza la unidad vertiente o piedemonte aluvial, formada por un conjunto de cárcavas que confluyen hacia la quebrada La Colpa y al oeste un abanico de piedemonte que se emplaza hacia el norte.
- b) Al sur del perímetro del predio Llagapagana, afloran areniscas y cuarcitas blancas muy meteorizadas y fracturadas de la Formación Chimú. Los depósitos aluviales están conformados por arcillas arenosas con gravillas y gravas angulosas poco compactas susceptibles a la erosión por escorrentía superficial.
- c) La geodinámica de la zona de estudio se encuentra en **ESTADO INACTIVO**. Existen escarpes con procesos retrogresivos que podrían formar nuevos deslizamientos. Mientras que, las cárcavas presentan procesos de erosión antiguos y recientes debido a la escasa cobertura vegetal. Los bloques de rocas dispersos en las laderas forman caídas que podrían activarse ante la ocurrencia de sismos de regular intensidad.
- d) El factor desencadenante de los procesos de remoción en masa es el agua de escorrentía que se forma durante la temporada de lluvias, sobre todo en presencia de eventos extraordinarios como El Niño Costero donde los parámetros normales de precipitación son altos, incrementando el poder erosivo de la escorrentía en la zona.
- e) Debido a las condiciones actuales, se considera que la zona presenta un “**Peligro Alto por Movimientos en Masa**”, estos eventos geodinámicos podrían reactivarse ante la presencia de lluvias intensas o extraordinarias en la zona.

RECOMENDACIONES

- a) Diseñar, plantear y construir las medidas de mitigación estructural descritas; tales como: zanjas de coronación, drenajes dendríticos, barreras y canales, para el adecuado manejo de la escorrentía superficial, con el objetivo de conducir adecuadamente el agua proveniente de la parte alta de la ladera, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie y evitar la pérdida de suelo.
- b) Construir cunetas a lo largo de las vías o calles a ser construidas para el área de expansión urbana del sector Llagapagana con la finalidad de evitar que el agua de escorrentía proveniente de temporada de lluvias descienda rápidamente ocasionando erosión en la superficie.
- c) Realizar el seguimiento y mantenimiento del control de erosión de laderas, manteniendo la vigilancia permanente, al conjunto de obras dispuestas para el control de la erosión, prolongar su vida útil y determinar la funcionalidad de las medidas adoptadas.
- d) Se deben de rellenar e impermeabilizar las cárcavas adyacentes a la zona con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y el avance de la erosión de ladera.
- e) Sensibilizar a la población a fin de evitar asentamientos en las márgenes de la cárcava o en áreas susceptibles.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

REFERENCIAS

- Cruden, D.M., Varnes, D.J. (1996). Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247.
- IDESEP (2017). Infraestructura de datos espaciales del SENAMHI-2017.
- OSTERKAMP, W.R. (2008) Annotated Definitions of Selected Geomorphic Terms and Related Terms of Hydrology, Sedimentology, Soil Science and Ecology, USGS Open file Report 2008-1217, Reston, Virginia.
- 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, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. INGEMMET, Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 31, 75p.
- Santiago, J. (2007). Estudio geomorfológico realizado a partir de la interpretación de imágenes de satélite de Google Earth: caso de los sectores alto y medio de la cuenca del río Santa Bárbara, Ciudad Bolívar. Escuela de Ciencias de la Tierra, UDO. Trabajo de ascenso. 85 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.
- Zinck, A. (1987). Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología.
- Zavala, B., Rosado, M. (2011). Riesgo Geológico en la Región Cajamarca. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica. 394 p.
- Zavala, B. & Barrantes, R. (2007), Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la región Cajamarca. INGEMMET, Informe Técnico, Geología Ambiental y Riesgos Geológicos Pag .106