

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7047

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR DESLIZAMIENTOS EN LOS CENTROS POBLADOS COLCAS Y NUÑUNABAMBA

Región Cajamarca
Provincia Cajabamba
Distrito Cajabamba



CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. ANTECEDENTES	2
3. ASPECTOS GENERALES	2
3.1. Ubicación	2
3.2. Accesibilidad	4
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	4
5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO	4
5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)	4
5.2. Mapa de Pendientes.....	5
5.3. Unidades Geomorfológicas	8
5.3.1. Unidad de colinas y lomas	8
5.3.2. Unidad de Piedemonte.....	9
5.3.3. Unidad de planicies inundables.....	10
6. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
6.1. Definición de deslizamientos	12
6.2. Caída de rocas y derrumbes	12
6.3. Erosión de laderas (cárcavas)	13
6.4. Deslizamientos en los sectores Colcas y Nuñumabamba.....	15
6.5. Caída de rocas y derrumbe	18
6.6. Erosión de laderas (Cárcavas)	20
7. DAÑOS OCACIONADOS	21
7.1. Viviendas.....	21
8. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS	22
8.1. Factores condicionantes.....	22
a) Litología.....	22
b) Pendiente del terreno	23
8.2. Factores desencadenantes	23
a) Precipitaciones pluviales	23
b) Sismo de Lagunas 2019	24
9. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS	25
9.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía.....	25
a) Canal de coronación.....	25
b) Sistemas de drenaje tipo espina de pescado.....	26
9.2. Medidas estructurales para control de cárcavas.....	26

CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS	33

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR DESLIZAMIENTOS EN LOS CENTROS POBLADOS COLCAS Y NUÑUMABAMBA (Distrito y Provincia Cajabamba, Región Cajamarca)

RESUMEN

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 los caseríos Colcas y Nuñumabamba con la finalidad de determinar los tipos de movimientos en masa y las zonas susceptibles a la ocurrencia de nuevos procesos activados por lluvias intensas o sismos de regular intensidad.

El 26 de mayo del 2019 ocurrió un terremoto de magnitud 8 Mw cuyo epicentro estuvo ubicado en el distrito de Lagunas, provincia del Alto Amazonas en Loreto, este evento sísmico activo varios deslizamientos, derrumbes y caídas de rocas, además produjo el colapso de cientos de viviendas, las ondas sísmicas alcanzaron las regiones de Piura, Tumbes, Lambayeque, Cajamarca y Amazonas.

Una de las provincias más afectadas fue Cajabamba, donde se reportó daños a terrenos de cultivos, agrietamientos y asentamientos, particularmente en los caseríos Higobamba, Hichabamba, Huayllabamba y Churucana.

La litología está conformada por arcillitas, limoarcillitas y areniscas en sedimentos que se distribuyen hacia el oeste que corresponden con la Formación Cajabamba; mientras que, al este se encuentran conglomerados poco compactos que conforman un medio poroso por donde se infiltra el agua hacia el subsuelo, que corresponde con la Formación Condebamba. Sobre este tipo de litología se ubican las áreas urbanas de los caseríos Colcas y Nuñumabamba.

La geomorfología está representada por colinas y lomadas en roca sedimentaria sobre las que se asientan las áreas urbanas de Nuñumabamba y colas respectivamente, las laderas presentan pendientes variables limitando como piedemontes aluviales con pendientes moderadas y fuertes entre 5° a 25°, se observan hasta escarpes limitando con el lecho fluvio aluvial de la quebrada Lanla y hacia el oeste se encuentra el abanico aluvial formado por la desembocadura de la quebrada Lanla hacia el río Condebamba.

Los factores condicionantes para la generación de procesos de remoción en masa como deslizamientos, caída de rocas o derrumbes y erosión de laderas, son los sedimentos compuestos por material areno arcillosos y conglomerados poco compactos. Los factores desencadenantes son el agua de escorrentía proveniente de lluvias intensas, sobre todo en presencia de eventos extraordinarios como El fenómeno El Niño y los sismos, como el que sucedió en Lagunas 2019.

Se recomienda la reubicación de viviendas cercanas a los deslizamientos, además de plantear medidas de mitigación estructural para controlar y disminuir los impactos producidos por procesos de remoción de masas. La reactivación de nuevos deslizamientos podría causar graves daños en la zona urbana e infraestructuras importantes en ambos caseríos.

1. INTRODUCCIÓN

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. Mediante Oficio N° 341-219-MPC/A la Municipalidad Provincial de Cajabamba, solicitó la evaluación de peligros geológicos de los caseríos de Colcas y Nuñumabamba.

El INGEMMET 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. Los trabajos de campo consistieron en la identificación de 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 los sectores Colcas y Nuñumabamba.

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 en la provincia de Cajabamba, en la zona de estudio describe secuencias de la Formación Cajabamba conformada por lutitas, lodolitas y areniscas de color blanco-amarillentos, esta litología tiene orígenes de tipo lacustre con presencia de capas delgadas de carbón. Hacia el este afloran areniscas, arcillas rojizas y conglomerados de la Formación Condebamba.
- “Riesgo Geológico en la Región Cajamarca” (Zavala, B. & Rosado, M. (2011). En el informe se describe que la zona de estudio presenta una alta susceptibilidad a movimientos en masa afectando trochas carrozables, vías de acceso, puentes e infraestructura.
- “Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geohidrológicos en la Región Cajamarca” (Zavala, B. & Barrantes, R; 2007). Este reporte describe zonas de deslizamientos y erosión de laderas debido a la presencia de quebradas que se activan en temporada de lluvias.

3. ASPECTOS GENERALES

3.1. Ubicación

Los caseríos Colcas y Nuñumabamba se ubican a 7.8 y 6.6 km al este de Cajabamba respectivamente, pertenecen al distrito y provincia del mismo nombre en la región Cajamarca (figura 01). Las coordenadas centrales del área de inspección con referencia al centroide de la zona son WGS84-17S 818753E, 9155622N a una altitud promedio de 2250 m.

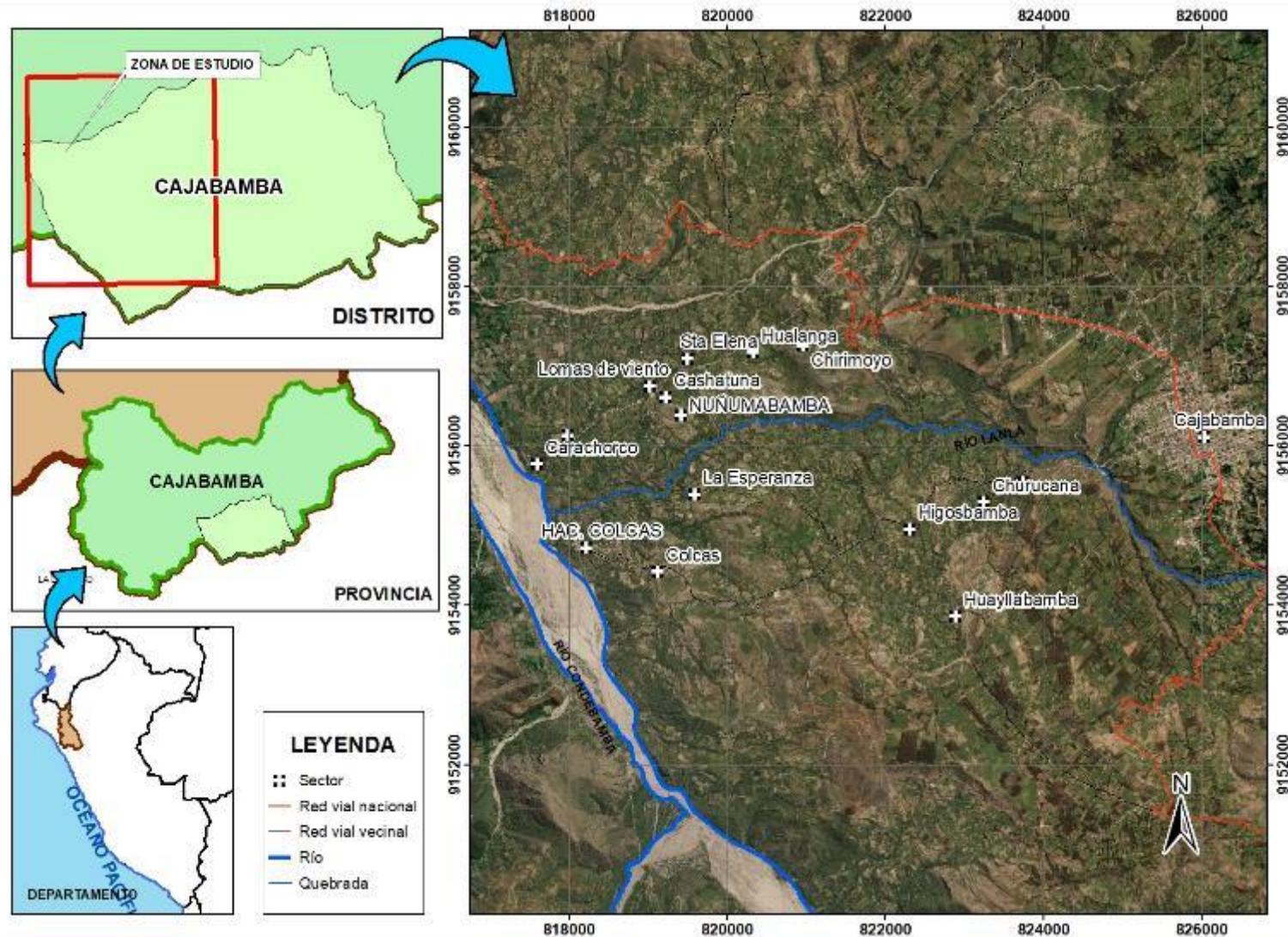


Figura 01. Ubicación de la zona de estudio Colcas y Nuñumabamba, deslizamientos y cárcavas.

3.2. Accesibilidad

El equipo de trabajo se trasladó desde la ciudad de Cajamarca con dirección sureste hasta la provincia de San Marcos, para continuar el recorrido hasta la capital de la provincia de Cajabamba, desde aquí se toma el desvío al centro poblado Tres Cruces con dirección oeste con un recorrido total de 30 minutos para finalmente llegar a los caseríos Colcas y Nuñumabamba (Cuadro 01).

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

Ruta	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Cajamarca – San Marcos	Asfaltada	1 h 50 min
San Marcos - Cajabamba	Trocha carrozable	1 h 30 min
Cajabamba – Colcas - Nuñumabamba	Trocha carrozable	30 in

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 se describe una secuencia de arcillitas, lodolitas, limoarcillitas y areniscas finas de color blanco amarillento, estos sedimentos tienen un origen lacustre con contenido de restos fósiles, también se intercalan con capas carbonosas de la Formación Cajabamba; mientras que, la Formación Condebamba está conformada por conglomerados con arenas y limo arcillas.

Los depósitos aluviales recientes están conformados por una capa de arenas y limos poco compacta de color blanco amarillento, con espesores variables. Las capas inferiores constituyen depósitos aluvionales de arenas limosas con gravas y clastos angulosos con bloques dispersos, cuya génesis obedece a flujos de lodo y/o detritos que fueron modelando las geoformas del presente (figura 02).

5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

Las unidades geomorfológicas presentes en la zona de estudio tienen su origen en 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 del Fenómeno El Niño, etc.

5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

La zona de estudio presenta las máximas elevaciones al este de Nuñumabamba con 2500 m s.n.m; mientras que, las elevaciones más bajas se encuentran al suroeste con 2170 m de altitud. La quebrada Lanla irriga la zona de evaluación y desciende desde los 2700 m s.n.m., desde esta quebrada se han construido varios canales que descienden por la ladera hasta los terrenos de cultivo.

Las áreas urbanas de los caseríos inspeccionados de Nuñumabamba y Colcas se ubican sobre los 2340 m s.n.m y 2220 m s.n.m (figura 03).

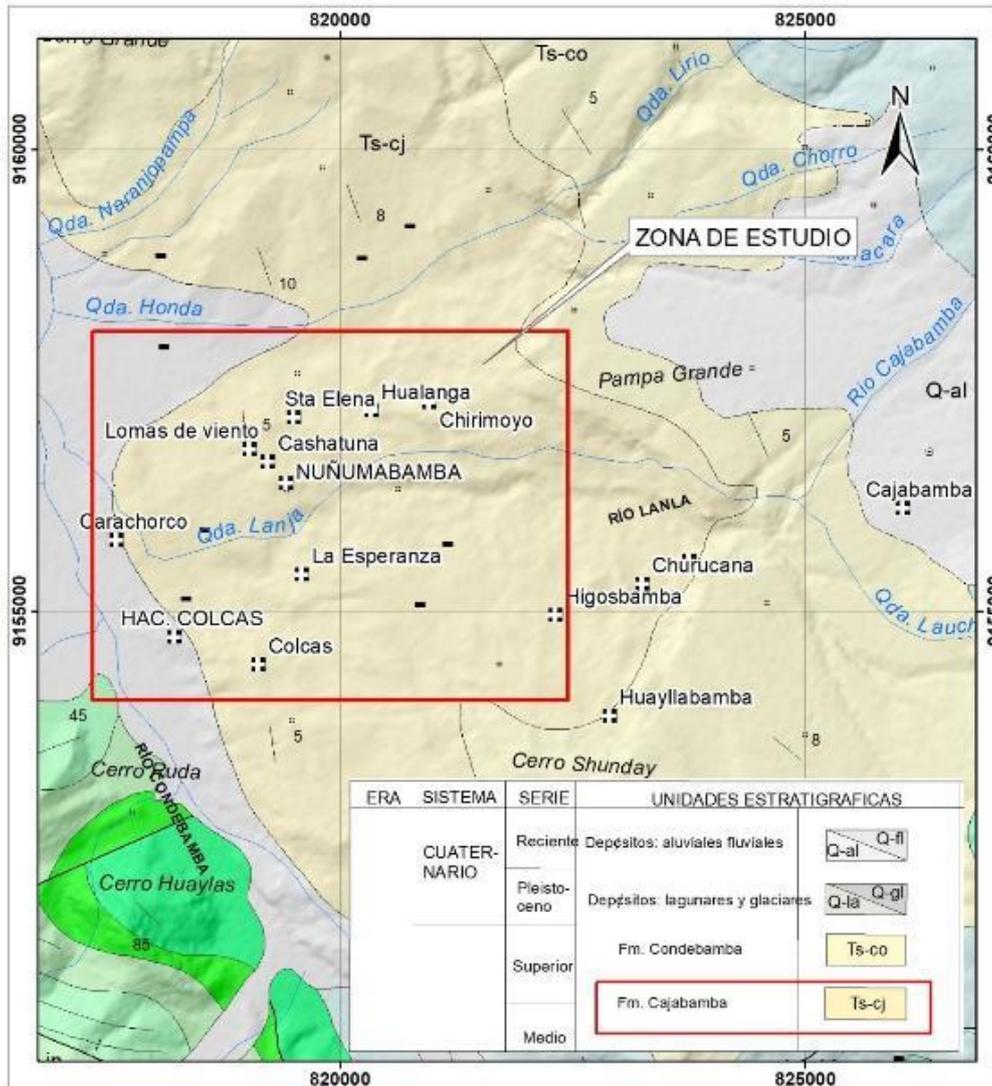


Figura 02. Geología a escala regional del cuadrángulo de Cajabamba y la zona de estudio.

5.2. Mapa de Pendientes

La zona de estudio tiene una extensión de 446 has, solo el 4% (18 has) del total son superficies con pendientes llanas, las geoformas con pendientes suavemente inclinadas representan el 25% con 111 has, el 43% del área (190 has) tiene pendientes moderadas (5°-15°) distribuidas en toda el área de evaluación. Las pendientes fuertes y muy fuertes (15° - 45°) se distribuyen principalmente de este a oeste, de noreste a suroeste y de norte a sur con 120 has, direcciones que probablemente estén relacionadas al emplazamiento de antiguos procesos de remoción en masa; mientras que, solo el 1% (4 has) son relieves muy escarpados (figura 04).

Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<1	Llano
1 – 5	Suavemente inclinado
5 – 15	Moderado
15 – 25	Fuerte
25 – 45	Muy fuerte
>45	Muy escarpado

Fuente: Gómez et al. (2020)

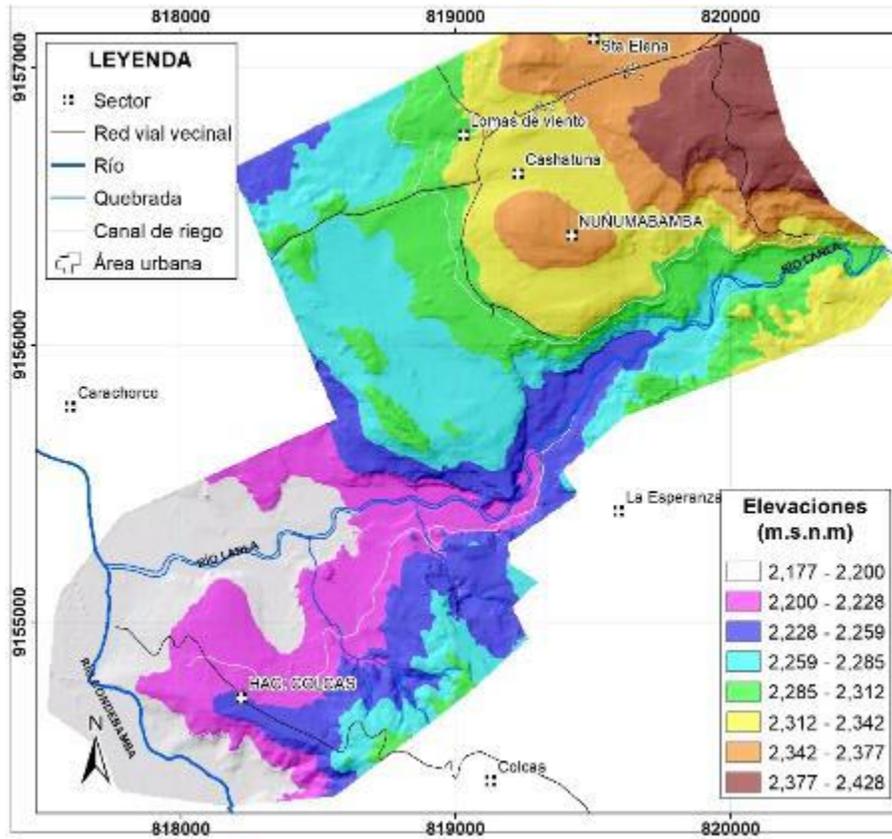


Figura 03. Modelo digital de elevaciones (MDE).

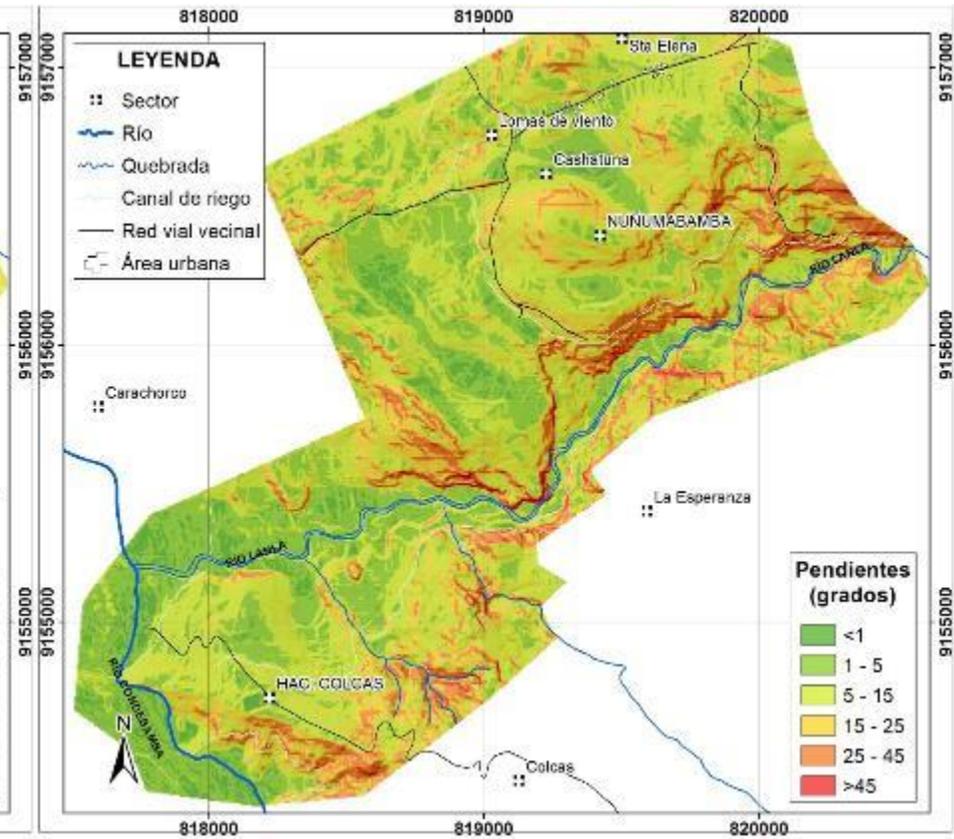


Figura 04. Mapa de pendientes.

5.3. Unidades Geomorfológicas

Según la geomorfología a escala regional contenida en el GEOCATMIN, la zona de estudio se asienta sobre lomada y colinas en roca sedimentaria, a escala a detalle las quebradas y ríos forman llanuras de inundación, planicies, terrazas y abanicos aluviales.

5.3.1. Unidad de colinas y lomas

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos, 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 (304 m). Sin embargo, ambos países abandonaron la distinción a mediados del Siglo XX (Rosenberg, 2020).

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 m 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 colinas y lomadas estructurales en roca sedimentaria (RCLE-rs)

Estas geoformas se extienden en gran parte de la zona de estudio presenta relieves ondulados y pendientes suaves, alcanzan elevaciones de 2370 m s.n.m, que se desarrollan sobre rocas sedimentarias conformadas por areniscas. Las colinas se emplazan hacia la zona central del área de estudio con pendientes medias a bajas (figura 05).

Las lomadas tienen un desarrollo preferencial con dirección sureste a noroeste y de este a oeste alcanzando altitudes de 2250 m y pendientes menores a 30°, este tipo de emplazamiento obedece a antiguos procesos de remoción en masa desde las partes altas de las montañas hacia el valle o piedemonte, la zona urbana del centro poblado Hacienda Colcas se asienta sobre una lomada (figura 06).



Figura 05. Colinas sobre las que se asienta la zona urbana de Nuñumabamba.



Figura 06. Lomadas próximas al río Condebamba donde se ubica el sector Colcas.

5.3.2. Unidad de Piedemonte

En esta unidad los abanicos se originan cuando una corriente o flujo de materiales es transportada desde la fuente a través de un canal encajonado en donde a medida que se desplaza ladera abajo pierde el 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 han sido modelados por corrientes de agua como ríos o quebradas, se emplazaron formando relieves suavemente inclinados con pendientes menores a 5°, los materiales y sedimentos de estas geoformas fueron transportados desde las montañas hasta zonas más bajas que se encuentran al oeste de la zona de estudio (figura 07).



Figura 07. Abanico aluvial emplazado al norte de la zona de estudio.

5.3.3. Unidad de planicies inundables

Las llanuras de inundación son superficies adyacentes a un curso de agua fluvial y que frecuentemente suele inundarse, dependiendo de los periodos lluviosos ocurridos en las cuencas altas de los ríos. Estas áreas están conformadas por depósitos fluviales o aluviales, que las corrientes de agua movilizan por excavación de canales o migración lateral.

a) Subunidad de llanura inundable (PI-i)

Las áreas adyacentes al río Condebamba han sido modeladas durante el origen y desarrollo de la dinámica fluvial de la zona, alcanzan hasta 1.7 km de extensión y 100 m de ancho en el área de estudio, presenta desniveles menores a 2 m en donde existen viviendas asentadas próximas al curso del río (figura 08).



Figura 08. Vista de las llanuras de inundación formadas por el curso de agua del río Condebamba.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. El 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 INGENMET 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, donde se identificaron movimientos en masa, se efectuó la cartografía geológica y geodinámica basada en la observación y descripción morfométrica in situ, toma de datos GPS y fotografías del terreno, fotografías aéreas. En base a la información obtenida de drones, se obtuvieron ortofotos y modelos digitales de terreno de alta resolución.

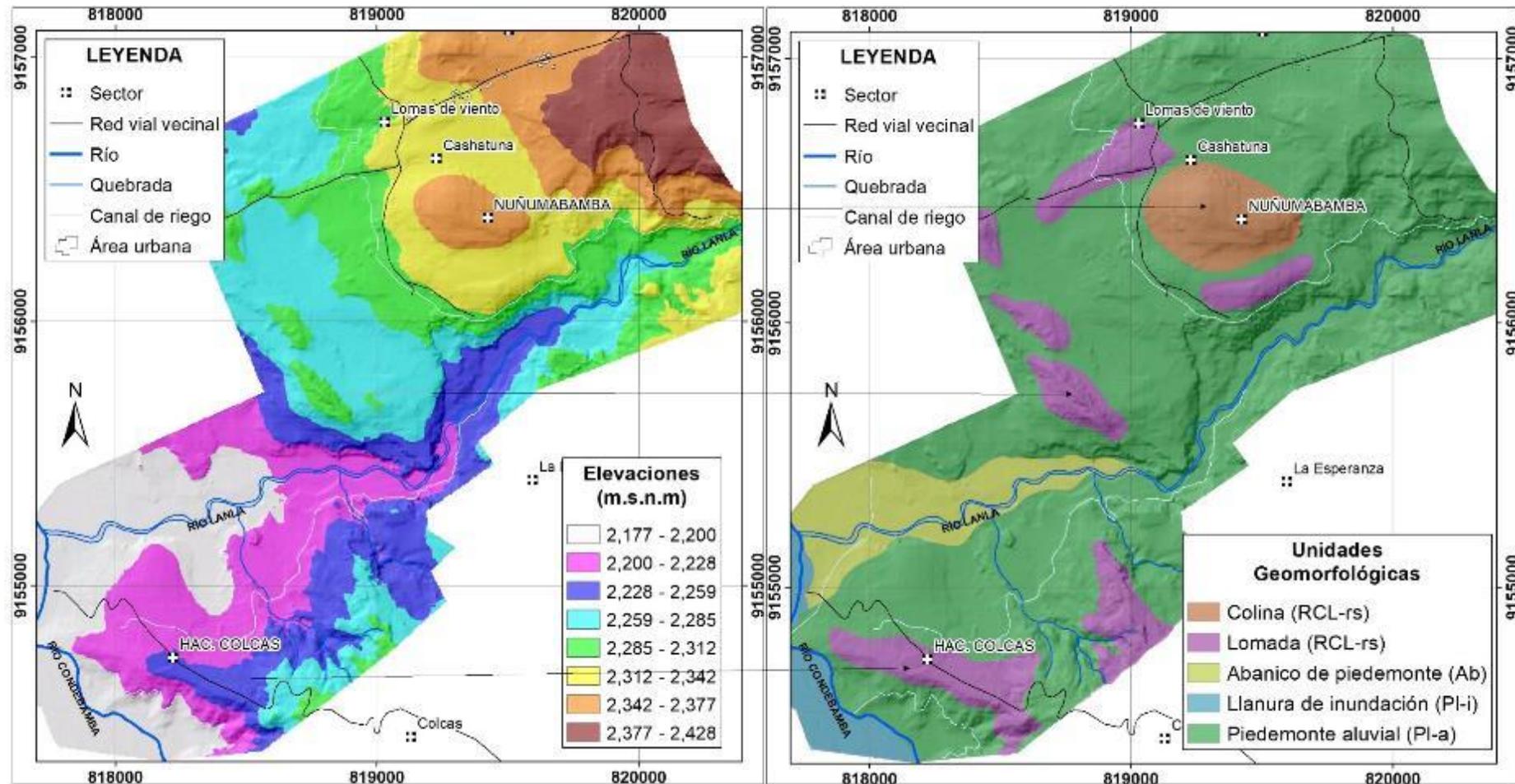


Figura 09. Modelo digital de elevación y mapa de unidades geomorfológicas de la zona de estudio.

6.1. Definición de deslizamientos

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).

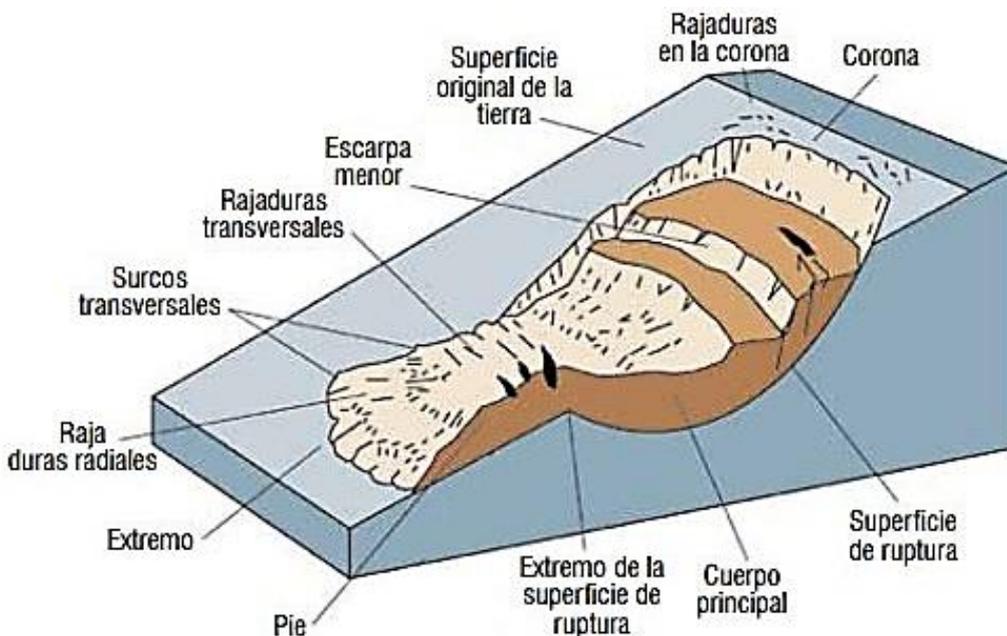


Figura 10. Deslizamiento de tipo rotacional, Adaptado de USGS (2008), GEMMA: PMA-GCA (2007).

6.2. Caída de rocas y derrumbes

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 desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978).

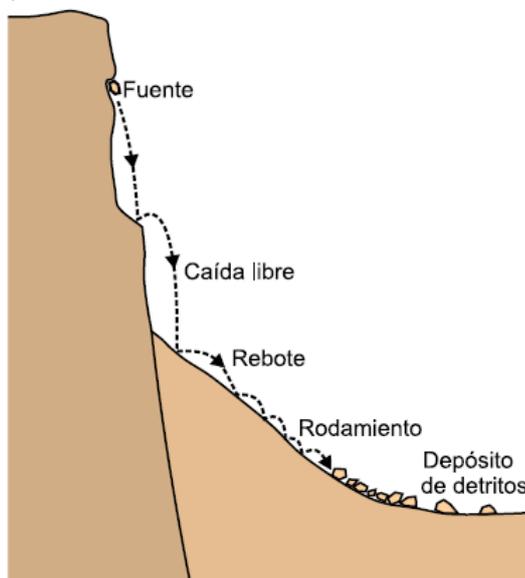


Figura 11. Esquema de la caída de rocas según Varnes.

6.3. 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).

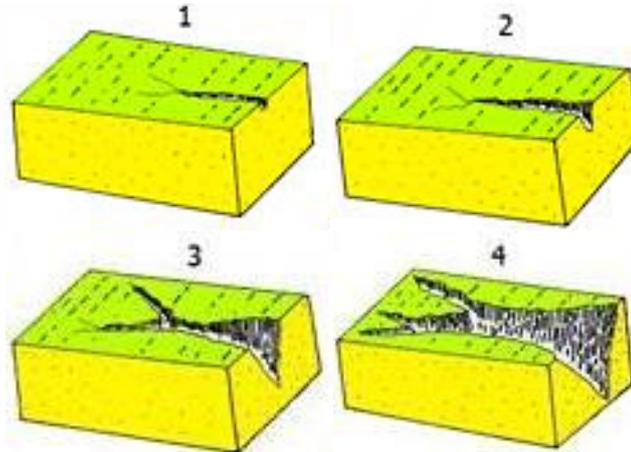


Figura 12. Evolución de una cárcava en cuatro etapas (Santiago, 2007)

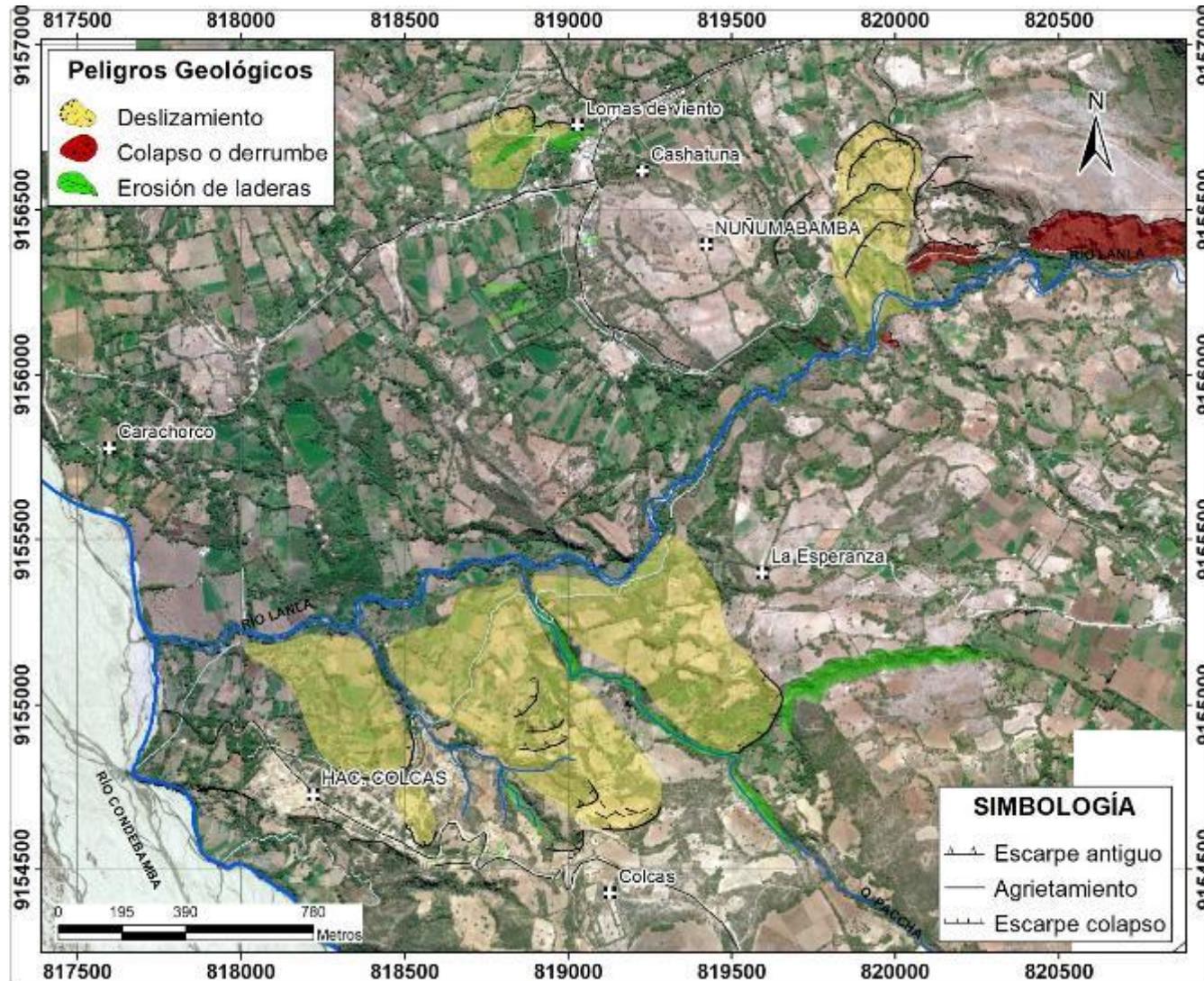


Figura 13. Mapa de Peligros Geológicos de la zona de estudio.

6.4. Deslizamientos en los sectores Colcas y Nuñumabamba

A continuación, se detalla las características geodinámicas desde el punto de vista geológico y geomorfológico describiendo la geometría presente el relieve, así como, los factores condicionantes y desencadenantes de los procesos de remoción en masa.

a) Sector Colcas

Se han definido varios deslizamientos antiguos, identificados a través de los escarpes, morfometría con cambios de relieves abruptos y materiales de depósitos aluvionales, los procesos de remoción en masa ocurridos durante el año 2012 fueron causados por lluvias intensas que afectaron a gran parte de la región Cajamarca y que causaron daños en la provincia de Cajabamba. Recientemente, durante el Niño Costero 2017 también se reportaron varios caseríos aislados por huaycos, caída de rocas y deslizamientos.

Descritos de oeste a este, existen 4 deslizamientos antiguos, con escarpes que presentan longitudes promedio de 320 m, 160 m, 270 m y 300 m de largo y anchos entre 80 m y 350 m. Los desniveles de desplazamiento o saltos de falla de los escarpes promedian los 2 m de alto. Estos escarpes se encuentran próximos a la zona urbana del centro poblado Colcas, viviendas ubicadas en la ladera y la vía de acceso principal (figuras 14 y 15).



Figura 14. Vista del deslizamiento 02 ubicado a 760 m de la zona urbana de Colcas.



Figura 15. Escarpe principal de deslizamiento de hasta 2 m de alto.

Se observó grietas longitudinales o paralelas a la corona de los deslizamientos, estas se originaron principalmente por tracción. Se podrían formar nuevos escarpes desencadenados por lluvias intensas o sismos.

En varias viviendas se identificó asentamientos de suelos, esto ocasionó en las paredes de las viviendas separación de juntas, vigas y agrietamientos; teniendo en cuenta que la mayoría son de materiales de adobe y carrizo (figura 16).



Figura 16. Vivienda de abobe con evidencias de separación de juntas y vigas.

b) Sector Nuñumabamba

La zona urbana del sector Nuñumabamba está asentada sobre antiguos deslizamientos, cuyas evidencias se pueden observar en los alrededores puesto que, gran parte de la geomorfología original fue modificada para el asentamiento de viviendas, infraestructura y vías de comunicación.

Hacia las zonas que bordean el casco urbano se evidencian escarpes de 1 m a 3 m de altura que colinda con zonas de cultivo, los primeros deslizamientos se ubican en el sector Lomas de Viento en dos tramos que llegan a mediar en total 315 m de longitud (figura 17).



Figura 17. Escarpe principal de deslizamiento en el sector Lomas de viento.

Sobre el cuerpo del deslizamiento se observó un canal de riego de concreto de 0.50 m de ancho y 0.35 m de profundidad, al ocurrir el deslizamiento este se desplazó de 0.70 m a 1 m ladera abajo con dirección noreste a suroeste.

El movimiento del terreno originado por deslizamiento produjo el colapso del canal de concreto en un tramo de 120 m y ocasionó que el agua se vertiera al terreno lo que causó, que los materiales ubicados por debajo del nivel del canal se saturaran.

Posteriormente, el canal fue sustituido por una tubería de PVC para recuperar el normal abastecimiento de agua a los cultivos de los sectores Cashatuna y Santa Elena (figura 18).



Figura 18. Canal de riego desplazado por el cuerpo del deslizamiento.

El trabajo de campo fue complementado con ayuda de la ortofoto y el modelo digital de terreno de alta resolución que se obtuvo mediante fotogrametría con drones, se delimitó con mayor precisión la geometría de los deslizamientos (figura 19).

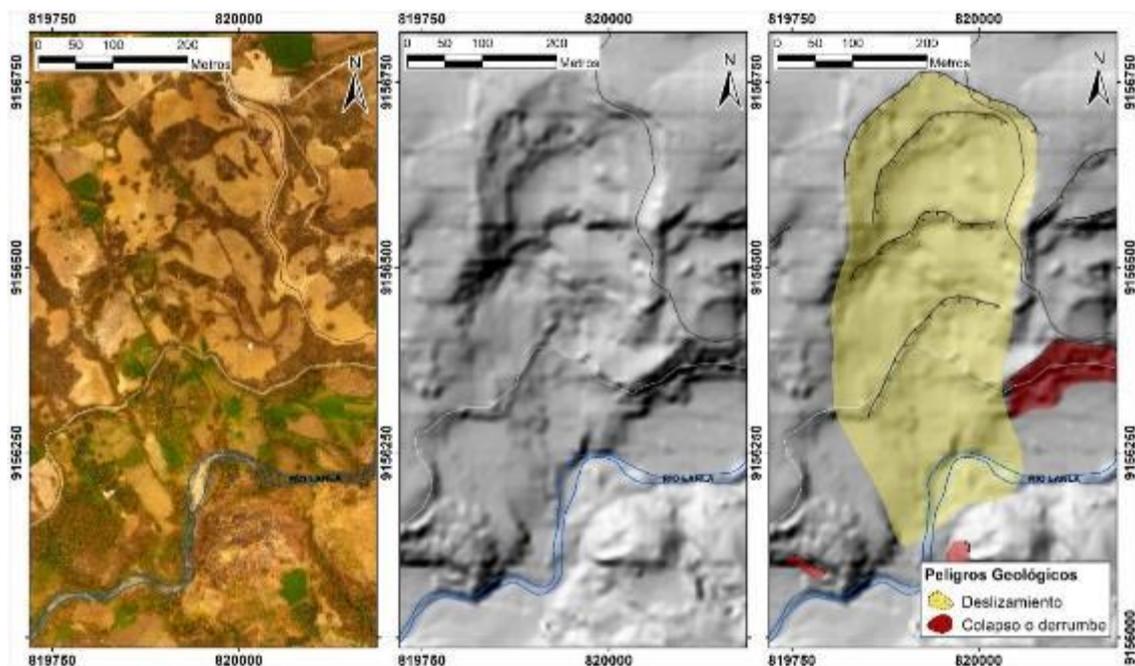


Figura 19. Ortofoto y modelo digital de terreno donde se puede observar una zona de deslizamiento.

En la zona se han identificado deslizamientos de tipo rotacional con coronas semicirculares, que está delimitados por suelos o rocas más estables.

El relieve donde se desarrolla el escarpe del deslizamiento presenta pendientes que superan los 35° y varían hasta 20° en donde se emplaza el cuerpo o masa deslizada; los tipos de sedimentos conformados por areniscas, limolitas y limoarcillitas se muestran susceptibles a este tipo de procesos.

Es típico encontrar algunas evidencias del desplazamiento del suelo, a través de estructuras como línea de postes no alineado, canales colapsado, vías asfaltadas con agrietamientos y árboles inclinados levemente que indican movimiento, los tallos o raíces suelen quedar colgados o expuestos (figura 20).



Figura 20. Zonas de grietas y arboles inclinados debido al desplazamiento del suelo.

6.5. Caída de rocas y derrumbe

Los geólogos, ingenieros y otros profesionales a menudo se basan en definiciones particulares y levemente diferentes de los deslizamientos de tierra o derrumbes. Esta

diversidad en las definiciones refleja la naturaleza compleja de las muchas disciplinas relacionadas con el estudio de los deslizamientos. Para nuestros propósitos, deslizamiento de tierras es un término general utilizado para describir el movimiento descendente de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad, y también la forma del terreno que resulta de ese movimiento (Highland, 2008).

La zona de caída de rocas y derrumbes se ubica en los escarpes de las laderas de la quebrada Lanla. La erosión causada por las lluvias a través de los años ha formado un canal profundo en la quebrada.

En farallones, que ante lluvias o sismos pueden ceder y generar caída de rocas, donde se pueden desplazar en el viento y luego caen en forma de bloques de hasta 1 m de diámetro (figuras 21 y 22).

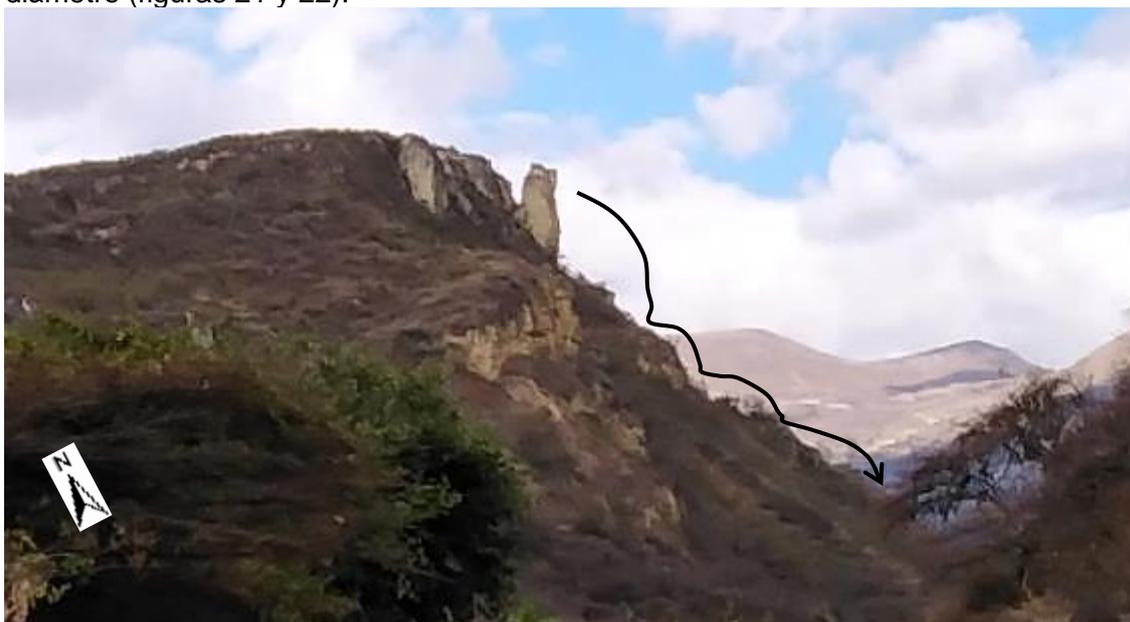


Figura 21. Farallones al pie de la ladera en estado de equilibrio límite.



Figura 22. Vista aérea de la zona de derrumbes y caída de rocas.

El 26 de mayo del 2019 ocurrió el sismo de Lagunas (Loreto), que alcanzó una magnitud de 8 (Mw), uno de los efectos de este evento, fue la activación de deslizamientos y caída

de rocas en la quebrada Lanla, esto provocó la generación de material suelto, el cual llegó a represar al cauce de la misma, causando alarma en la población ubicada próxima a la quebrada (figura 23).



Figura 23. Laderas de conglomerados inestables que se depositan en el cauce de la quebrada Lanla.

6.6. Erosión de laderas (Cárcavas)

La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, porque 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.

Los materiales aluviales observados en los cortes de laderas y zonas deslizadas están conformados por arenas limosas y limoarcillitas con gravas y clastos dispersos. Estas capas poco compactas son muy susceptibles a la erosión por el agua de escorrentía y la lluvia (figura 24).



Figura 24. Cárcava que afecta a conexiones de agua.

La profundidad de las cárcavas y surcos está en función del espesor de la cobertura aluvial erosionable, en los cortes naturales adyacentes a la quebrada Lanla se pueden observar hasta 15 m de sedimentos (figura 25).



Figura 25. Cárcava o surco de 320 m de largo y 15 m de ancho.

7. DAÑOS OCASIONADOS

7.1. Viviendas

Los principales daños ocasionados por los deslizamientos se han reflejado en las viviendas ubicadas próximas a los escarpes y cuerpo de los materiales removidos. En gran parte se las paredes presentan grietas y aberturas de más de 5 cm, separación de vigas y columnas, entre otros (figura 26).



Figura 26. Vivienda ubicada afectada deslizamiento.

En el sector Nuñumabamba, una de las estructuras más afectadas ha sido la iglesia del pueblo, los daños ocurrieron el 26 de mayo del 2019 durante el sismo de Lagunas, se han tomado medidas de reforzamiento de concreto en columnas y paredes para realizar la rehabilitación (figura 27). Cabe resaltar que, los materiales de las principales construcciones en la zona de estudio son de abobe, tapial, caña y estera, estos están

expuestos a los efectos del clima que desgastan y deterioran la integridad física exponiéndolos aún más a procesos de remoción en masa.



Figura 27. Iglesia del centro poblado Nuñumabamba en proceso de restauración.

8. 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 geoformas del relieve constituyen los factores condicionantes. Mientras que, las lluvias intensas y los sismos son considerados 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.

8.1. Factores condicionantes

a) Litología

La Formación Cajabamba de origen lacustre está conformada por areniscas de grano fino a grueso con capas de diatomitas, limoarcillitas y arcillitas, que, al saturarse por las lluvias intensas o agua de escorrentía no canalizada, pierden cohesión, ocasionando deslizamientos o reptación de suelos (figura 28).



Figura 28. Areniscas con intercalaciones de diatomitas observadas en el sector La Esperanza.

En los sectores próximos a Colcas, se han identificado conglomerados con matriz areno limosa, conformadas por gravas y clastos, son de formas redondeados a subredondeados, se encuentran medianamente compactos y erosionables, este tipo de depósitos forman sumideros al estar expuestos a flujos de agua superficial que luego se infiltra al subsuelo lavando la matriz dejando cavidades que con el tiempo pierden estabilidad y colapsan (figura 29).



Figura 29. Materiales y sedimentos aluviales de limos y arenas.

b) Pendiente del terreno

La pendiente es un factor muy variable en las zonas de estudio, debido a la geomorfología expuesta que está dominada por colinas y lomadas, con relieves ondulados suaves y también escarpes pronunciados, ubicados próximos a las quebradas lo que condiciona los colapsos o derrumbes; mientras que, los deslizamientos están vinculados más a los tipos de suelos y sedimentos, que conforman la cobertura aluvial de la zona.

8.2. Factores desencadenantes

a) Precipitaciones pluviales

El fenómeno de 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 rápidamente. 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. Por sus 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 (IDSESEP, 2017).

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).

Estación: CAJABAMBA GORE			
Departamento:	CAJAMARCA	Provincia: CAJABAMBA	Distrito: CAJABAMBA
Latitud:	7°37'18"	Longitud: 78°3'4"	Altitud: 2480 msnm.
Tipo:	EMA - Meteorológica	Código: 4729F0EC	

Cuadro 02. Datos de precipitaciones pluviales durante el mes de febrero del 2017.

PRECIPITACIÓN (Febrero)	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 (m.m/día)	1	18	6	5	0	0	0	2	11	1	0	0	0	0	20	5	1	0	0	0	7	0	10	8	3	1	7	17

Fuente: SENAMHI / DRD

* Datos sin control de calidad.

Durante este mes en la zona de estudio, se registraron lluvias que alcanzaron hasta 123 mm, teniendo como máximo 20 mm el 15 de febrero.

b) Sismo de Lagunas 2019

El sismo del 26 de mayo ocurrido en el distrito de Lagunas, Provincia de Alto Amazonas en la Región Loreto, fue registrado por la red acelerométrica del CISMID a nivel nacional (CISMID, 2019).

La estación de Cajamarca ubicada en el local del Colegio de Ingenieros de Cajamarca registró aceleraciones máximas del terreno (PGA) de 25, 22 y 17 cm/s² en las componentes EO, NS, UD (cuadro 03); estos parámetros ayudan a comprender el efecto de sitio que causó el paso de las ondas sísmicas producidas por el sismo que alcanzó una magnitud de 8.0.

Cuadro 03. Máximas aceleraciones registradas (Cismid, 2019)

N°	INTITUCIÓN	ESTACIÓN	UBICACIÓN	DISTANCIA EPICENTRAL (KM)	LUGAR DE ASIENTO	ACELERACIONES MÁXIMAS CON FILTRADO (cm/seg ²)			ACELERACIÓN MÁXIMA CM/SEG ²	ACELERACIÓN (g)
						PGA EO	PGA NS	PGA V		
1	POSGRADO FIC UNI / UNTRM	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	292	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	95.84	87.45	53.49	95.84	0.096
2	CIP	CIP MOYOBAMBA	SAN MARTIN, MOYOBAMBA, MOYOBAMBA	192	ARCILLA	91.29	78.76	90.16	91.29	0.093
3	CIP	CIP TARAPOTO	SAN MARTIN, SAN MARTIN, TARAPOTO	153	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	58.18	79.56	67.86	79.56	0.081
4	CIP	CIP AMAZONAS	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	294	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	78.91	53.98	53.05	78.91	0.08
5	POSGRADO FIC UNI	PACASMAYO	LA LIBERTAD, PACASMAYO, PACASMAYO	529	GRAVA ARENOSA	38.07	25.02	17.99	38.07	0.039
6	POSGRADO FIC UNI	UNI	CAJAMARCA, JAEN, JAEN	391	GRAVA MAL GRADADA	29.24	32.60	19.23	32.60	0.033
7	POSGRADO FIC UNI	UNC	CAJAMARCA, CAJAMARCA, CAJAMARCA	391	LIMO ARCILLOSO	25.26	22.63	17.09	25.26	0.025
8	CIP	CIP LA LIBERTAD	LA LIBERTAD, TRUJILLO, TRUJILLO	494	ARENA CON GRAVILLA	20.60	19.93	17.43	20.60	0.021
9	CIP	CIP CAJAMARCA	CAJAMARCA, CAJAMARCA, CAJAMARCA	393	GRAVA ARCILLOSA	17.27	17.63	9.44	17.63	0.018
10	CIP / UPAO	UPAO	LA LIBERTAD, TRUJILLO, TRUJILLO	495	ARENA ARCILLOSA	16.71	17.62	13.63	17.62	0.018

Las intensidades sísmicas estimadas por Servicio Geológico de Estados Unidos USGS llegaron a 4 y 5 MMI para la zona de estudio (figura 30).

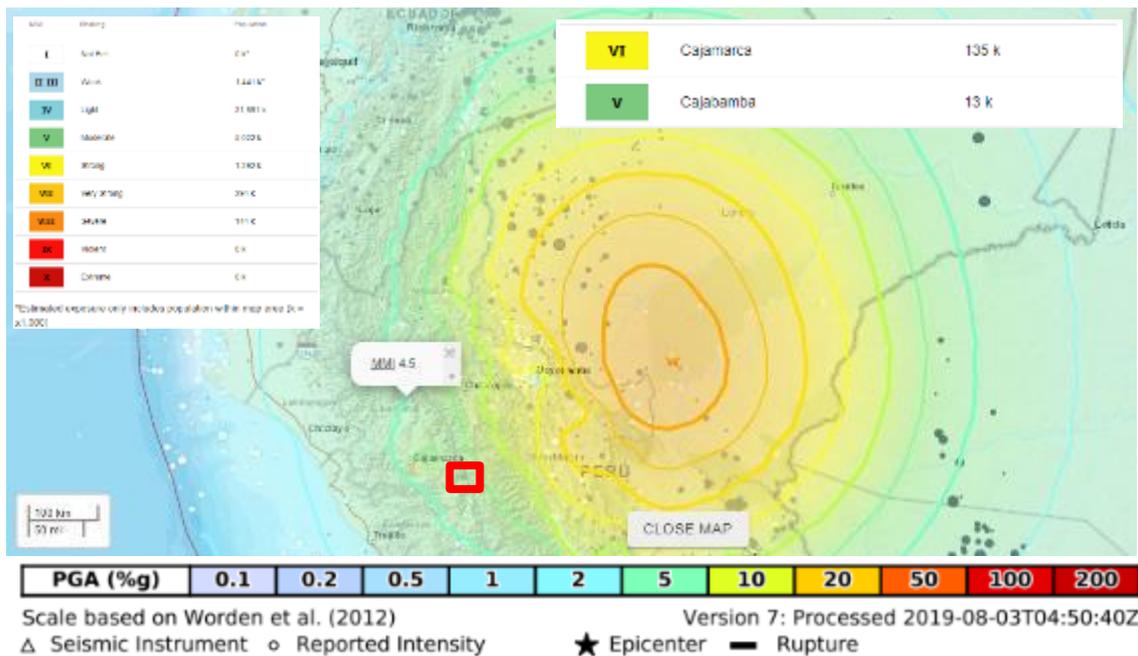


Figura 30. Intensidades sísmicas estimadas (USGS, 2019).

9. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

A continuación, se describen propuestas generales para mitigar las zonas afectadas, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de procesos de remoción en masa y deberán estar sustentadas en estudios de ingeniería definitiva tales como la caracterización geológica, geofísica y geotécnica.

9.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía

a) 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. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 31).

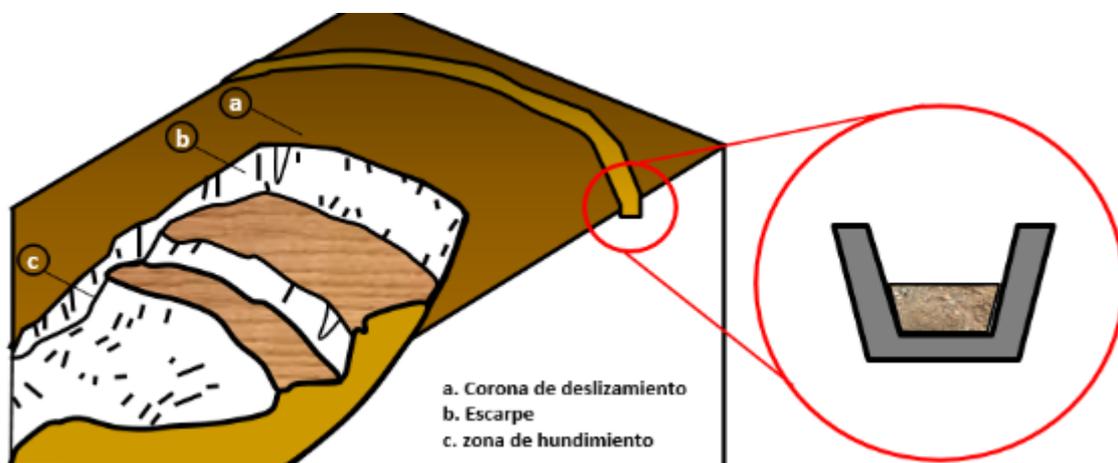


Figura 31. Esquema de zanjas de coronación o drenaje de deslizamiento.

b) Sistemas de drenaje tipo espina de pescado

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 32).

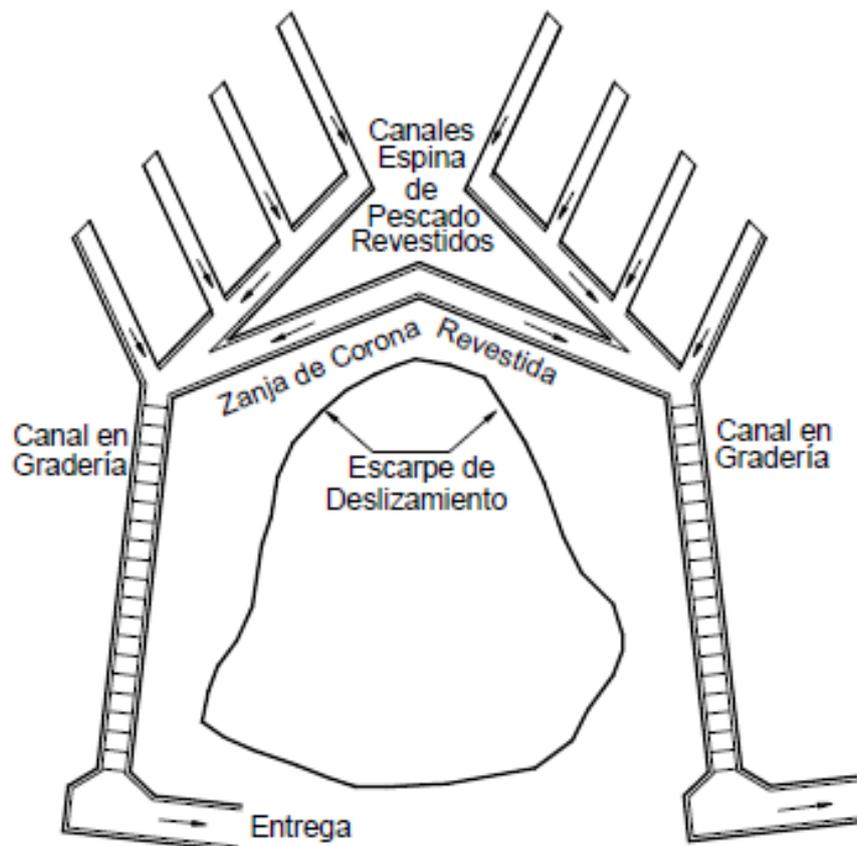


Figura 32. Esquema en planta de canales colectores Espina de Pescado (Suarez, 2010).

9.2. 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 de los sectores Colcas y Nuñumabamba, 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 33), 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 34, 35 y 36).
- 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.

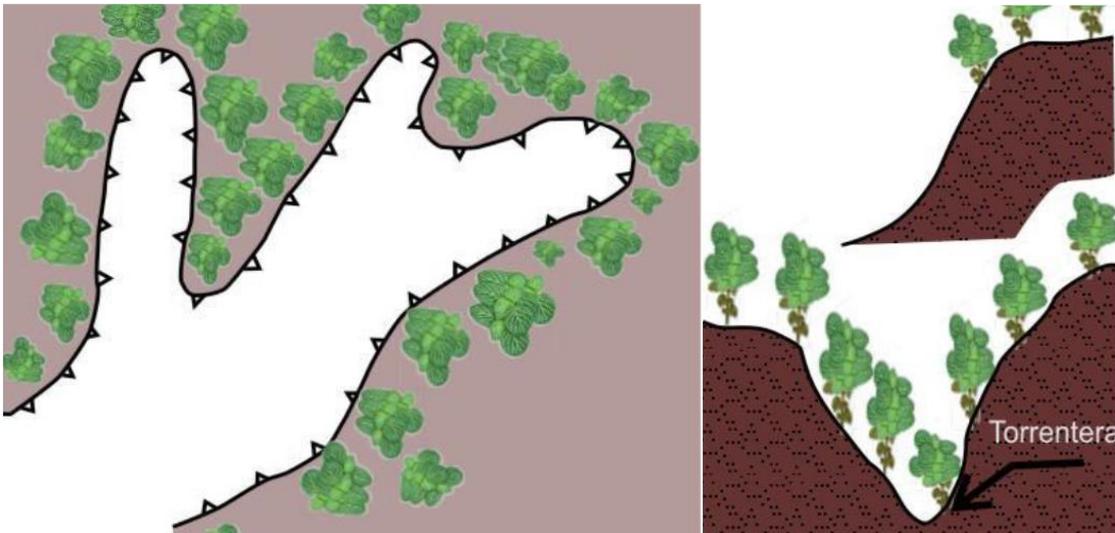


Figura 33. Vista en planta y perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

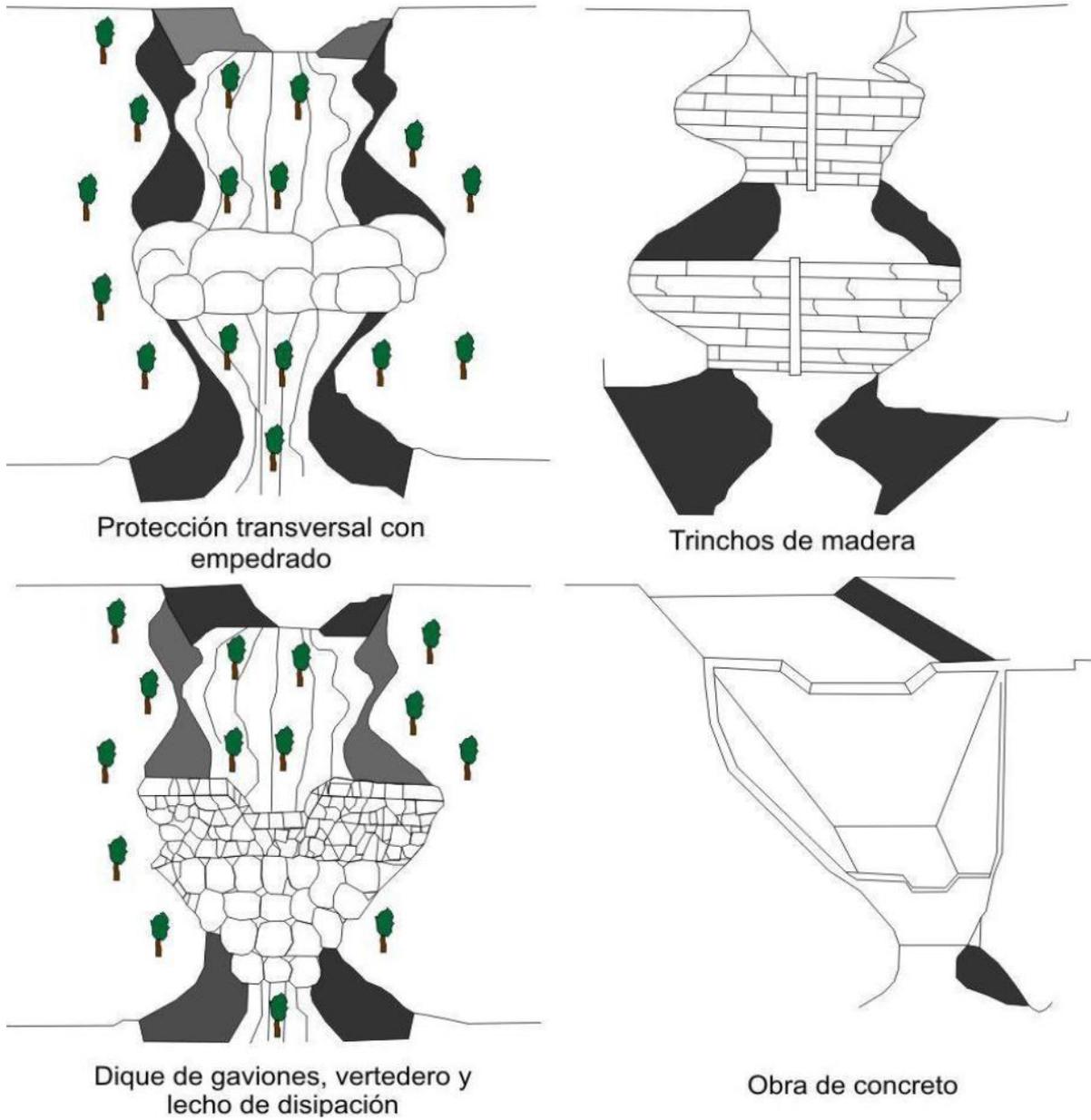


Figura 34. Obras hidráulicas transversales para el control de erosión en cárcavas.

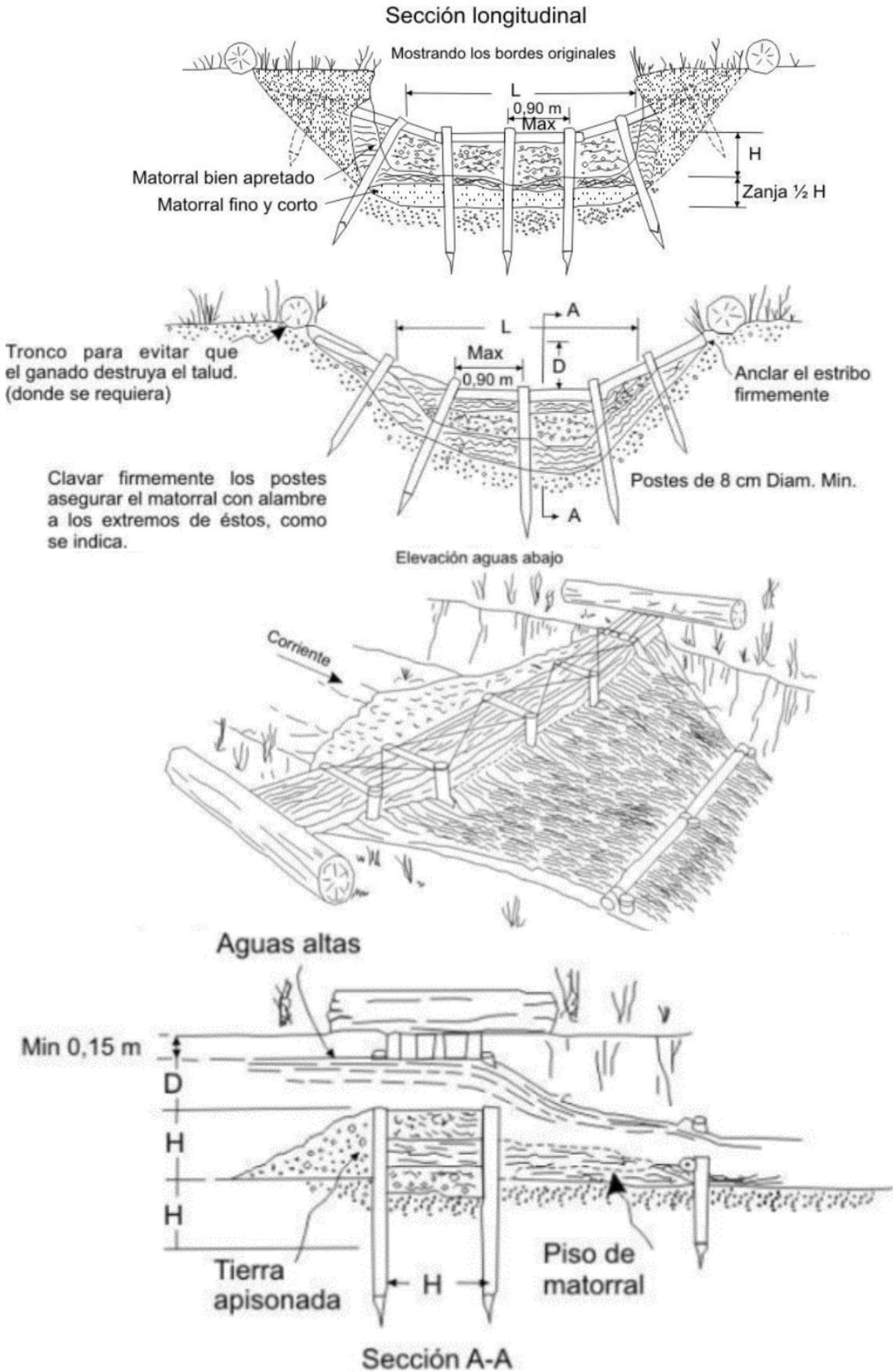
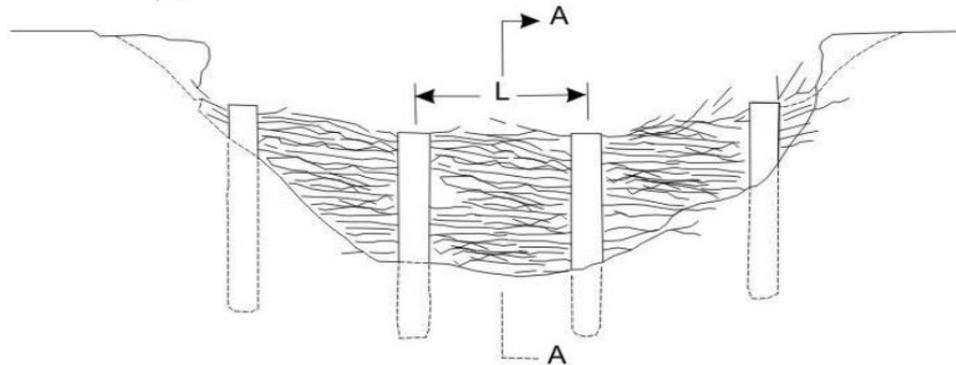
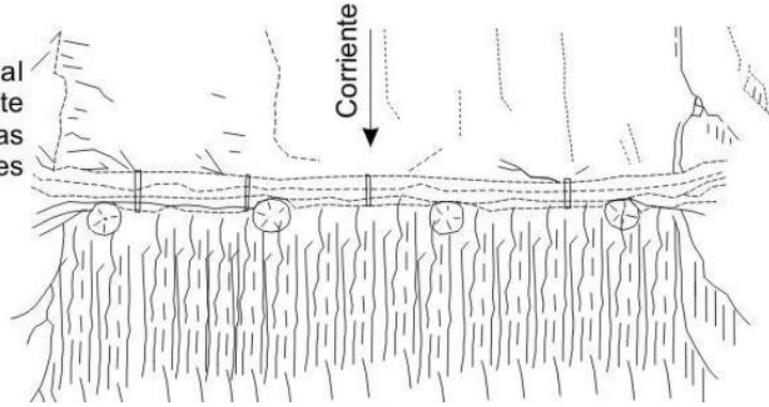


Figura 35. Presa de matorral tipo doble hilera de postes

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



Elevación aguas abajo
 Elevación aguas abajo

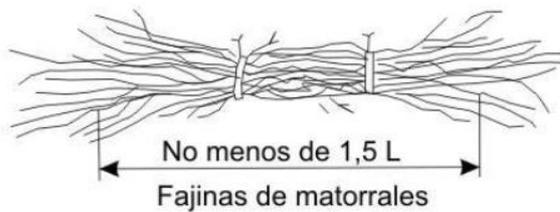
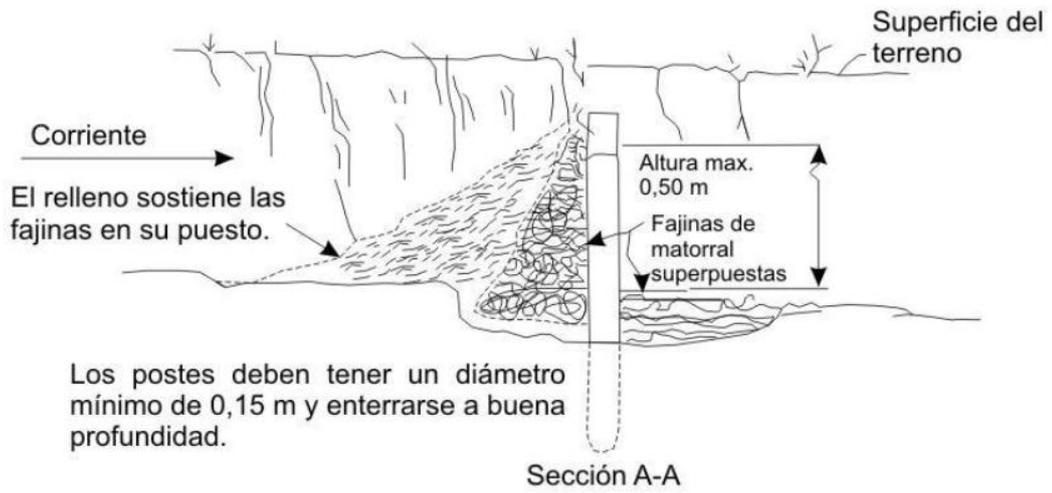


Figura 36. Presas de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

CONCLUSIONES

- a) Gran parte de la zona de estudio tiene sedimentos conformados por secuencias de arcillitas, limoarcillitas y areniscas de la Formación Cajabamba; mientras que, al este se observan conglomerados con arenas y limo arcillas de la Formación Condebamba. Los depósitos aluviales recientes están conformados por arenas y limos compactos de espesores variables. Las capas inferiores constituyen depósitos aluviales de arenas limosas con gravas y clastos redondeados.
- b) La zona urbana del centro poblado Colcas se asienta sobre una lomada; mientras que, Nuñumabamba se ubica sobre una colina en roca sedimentaria, las pendientes no superan los 25°, debido esto el agua de escorrentía superficial tiene baja energía por tanto poco poder erosivo. El piedemonte aluvial se muestra con pendientes menores a 15°, hacia los márgenes de la quebrada Lanla existen escarpes con pendientes fuertes a muy escarpadas en donde la erosión es alta. Los abanicos aluviales son ocupados como zonas de cultivos debido a la baja pendiente y la cobertura aluvial.
- c) La geodinámica de los procesos de remoción en masa como los deslizamientos, colapsos o derrumbes y erosión de laderas se encuentran en **ESTADO INACTIVO**. Se ha identificado la presencia de escarpes de deslizamiento antiguos que podrían reactivar con presencia de lluvias anómalas positivas o un sismo de mediana magnitud.
- d) Las cárcavas o surcos llegan a medir hasta 10 m de ancho y 50 m de largo en algunos sectores, la mayoría con presencia de vegetación, lo que evidencia la estabilidad transitoria de la dinámica.
- e) Los factores desencadenantes de los procesos de remoción en masa descritos son: el agua de escorrentía presente en la temporada de lluvias, sobre todo en presencia de eventos extraordinarios como El fenómeno El Niño y los sismos, como el que sucedió en Lagunas 2019, el cual activo varios deslizamientos y entre ellos los del sector de Nuñumabamba, que afectó viviendas.
- f) Se identificó grietas y escarpes antiguos que conservan la morfometría de desarrollo de las zonas deslizadas, que podrían formar nuevas zonas de falla por deslizamiento o derrumbes.
- g) La escorrentía superficial origina cárcavas, que actualmente se encuentra inactivas pero que se ubican próximas a viviendas de las áreas urbana de Colcas y Nuñumabamba.
- h) Debido a las condiciones geológicas, la zona presenta un **“Peligro medio a alto por Movimientos en masa**, que podrían reactivarse en presencia de temporadas de lluvias intensas o sismos de mediana a alta magnitud.

RECOMENDACIONES

- a) Reubicar las viviendas que se encuentran próximas a los escarpes de los deslizamientos antiguos ubicados en el sector Colcas por posibles reactivaciones.
- b) Plantear y construir medidas de mitigación estructural tales como: zanjas de coronación, drenajes, barreras y canales para el adecuado manejo de la escorrentía superficial, con el objetivo de impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie y evitar que el agua superficial se infiltre al subsuelo.
- c) Construir cunetas a lo largo de las vías tipo trochas carrozables, con la finalidad de evitar que, el agua de escorrentía en temporada de lluvias descienda rápidamente ocasionando una fuerte erosión.
- d) 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.
- e) Se deben de rellenar e impermeabilizar las cárcavas adyacentes a la zona con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y la erosión de ladera.
- f) Sensibilizar a la población a fin de evitar asentamientos en las márgenes de la cárcava, en áreas susceptibles próximas a la quebrada Lanla.
- g) Se deben de impermeabilizar las acequias y canales adyacentes mediante geomembrana de polietileno con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y evitar la inestabilidad en las laderas.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act-07



César Augusto Chacaltana Budiel
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico

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.
- Highland, L.M., y Bobrowsky, Peter. (2008). Manual de derrumbes. Guía para entender todo sobre los derrumbes: Reston, Virginia, Circular 1325 del Sistema Geológico de los EUA, 129 p
- 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.
- Rosenberg, M (2020). Differences Between Hills and Mountains. Retrieved. <https://www.thoughtco.com/difference-between-hill-and-mountain-4071583>.
- Suarez J. (2010). Métodos de manejo y estabilización.
- Valderrama, L. Montenegro, E. y Galindo, J. (1964). Reconocimiento Forestal del Departamento de Cundinamarca. Departamento Agrológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá. 86 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 Agrológica.
- 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.

