



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

INGEMMET

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7007

INSPECCIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO DE RANCHA

Región Ayacucho
Provincia Huamanga
Distrito Ayacucho



ENERO
2020

INSPECCIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO DE RANCHA

(Distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho)

CONTENIDO

| | | |
|-----|---|----|
| | RESUMEN | 2 |
| 1. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| | 1.1 Objetivos | 3 |
| | 1.2 Antecedentes | 3 |
| 2. | ASPECTOS GENERALES | 5 |
| | 2.1 Ubicación y accesibilidad | 5 |
| | 2.2 Clima e hidrografía | 6 |
| 3. | GEOLOGÍA | 7 |
| | 3. Unidades litoestratigráficas | 7 |
| 4. | GEOMORFOLOGÍA | 9 |
| | 4.1 Pendiente del terreno | 9 |
| | 4.2 Unidades geomorfológicas | 10 |
| 5. | PELIGROS GEOLÓGICOS - CONCEPTOS GENERALES | 14 |
| | 5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa | 14 |
| | 5.2 Otros peligros geológicos | 16 |
| 6. | PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO DE RANCHA Y ALREDEDORES | 17 |
| | 6.1 Movimiento complejo de Rancho | 17 |
| | 6.2 Deslizamiento rotacional D1 en la carretera Los Libertadores | 21 |
| | 6.3 Reptación en Chuspucucho y Rancho | 24 |
| | 6.4 Flujo de detritos en el sector de Hatun Pampa | 26 |
| | 6.5 Erosión de laderas en el cerro Huayllapata | 27 |
| 7. | CONCLUSIONES | 29 |
| 8. | RECOMENDACIONES | 30 |
| 9. | REFERENCIAS | 31 |
| 10. | ANEXOS | 32 |

INSPECCIÓN GEOLÓGICA-GEODINÁMICA DEL CENTRO POBLADO DE RANCHA

(Distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho)

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la inspección de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos realizado en el centro poblado de Rancho y alrededores, que pertenece a la jurisdicción de la municipalidad distrital de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades geológicas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas de origen sedimentario (formaciones Ticllas, Ayacucho y Huanta), volcánico-sedimentarias (Formación Sallalli) y niveles volcánicos (Formación Huari). Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en materiales conformados por arcillitas, limolitas, areniscas y conglomerados, del miembro Tingrayoc de la Formación Huanta, considerados como rocas de mala calidad geotécnica.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en roca sedimentaria y montañas en roca volcánico-sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, principalmente originadas por la ocurrencia de movimientos en masa antiguos, que configura geoformas de colinas de baja altura (vertiente con depósito de deslizamientos).

Los procesos identificados en el centro poblado de Rancho corresponde a los denominados movimientos en masa (movimiento complejo, deslizamiento, reptación y flujo de detritos), de edad antiguo que han sufrido reactivaciones; también se identificó zonas con procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas) con desarrollo de ensanchamiento y profundización. Estos procesos han afectado tramos de carretera, trocha carrozable y causado agrietamientos en paredes de viviendas.

Finalmente, en el presente informe se brindan recomendaciones que se consideran importantes, para que las autoridades las pongan en práctica para que no se sigan produciendo nuevas reactivaciones; así como para reducir la vulnerabilidad de personas y sus bienes, y por tanto reducir el riesgo a los peligros geológicos identificados en el perímetro del centro poblado de Rancho. Estas recomendaciones se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados.

1. INTRODUCCIÓN

El Gobierno Regional de Ayacucho mediante Oficio N° 565-2019-GRA/GR, de fecha 23 de agosto de 2019, solicitó al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), apoyo para realizar la inspección ocular y evaluación geológica en el centro poblado de Rancho, del distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 7), contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico por movimientos en masa en zonas que tengan elementos vulnerables. Para ello la DGAR designó al ingeniero Manuel Vilchez M., para que realice la evaluación técnica respectiva. Los trabajos de campo se realizaron el día 22 de setiembre del presente año. Previamente se realizaron coordinaciones con el jefe de defensa civil del gobierno regional de Ayacucho, los trabajos de reconocimiento de campo se hicieron en compañía del Ing. Cesar Flores representante del gobierno regional y el señor Edilberto Lozano Sulca, alcalde de la Municipalidad Centro Poblado Rancho.

La inspección geológica-geodinámica se basó en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores realizados por INGEMMET y los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS y fotografías), el cartografiado geológico y geodinámico, con lo que finalmente se procedió a la redacción del informe técnico.

Este informe se pone en consideración del Gobierno regional de Ayacucho, donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo de desastres, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1 Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Realizar la caracterización geológica y geodinámica del territorio sobre el cual se encuentra asentado el centro poblado de Rancho.
- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros que se presentan en el centro poblado de Rancho y alrededores; así también, determinar si los eventos identificados pueden comprometer la seguridad física de las personas y sus bienes.
- Emitir las recomendaciones pertinentes para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos por movimientos en masa identificados.

1.2 Antecedentes y trabajos anteriores

Se tienen trabajos previos y publicaciones en diferentes escalas realizadas por INGEMMET que incluyen el Centro Poblado de Rancho del distrito de Ayacucho, relacionados a temas de geología y peligros geológicos, de los cuales destacan los siguientes:

- En el Boletín N° 70, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: **“Peligro geológico en la región Ayacucho”** (2019), se identifican los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio. Se identificó un total de 1390 ocurrencias de peligros (incluye eventos identificados en el ámbito de la localidad de

Rancha) y se determinaron 31 zonas críticas; de las cuales la zona crítica N° 2 ubicado en la carretera Los Libertadores (km 322+300), en el sector Chanchoccocha, 250 m de la carretera es constantemente afectada por un deslizamiento; esta zona crítica se encuentra en dirección noreste muy cerca de la zona inspeccionada a una distancia aproximada 250 m. El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad por movimientos en masa (escala 1: 100 000), evidenciándose que en el Centro Poblado de Rancha se presentan rangos de susceptibilidad Alta y Muy Alta (figura 1). Entendiéndose susceptibilidad a movimientos en masa como la propensión que tiene determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico (movimiento en masa), expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno); los desencadenantes de estos eventos son la precipitación pluvial y la sismicidad.

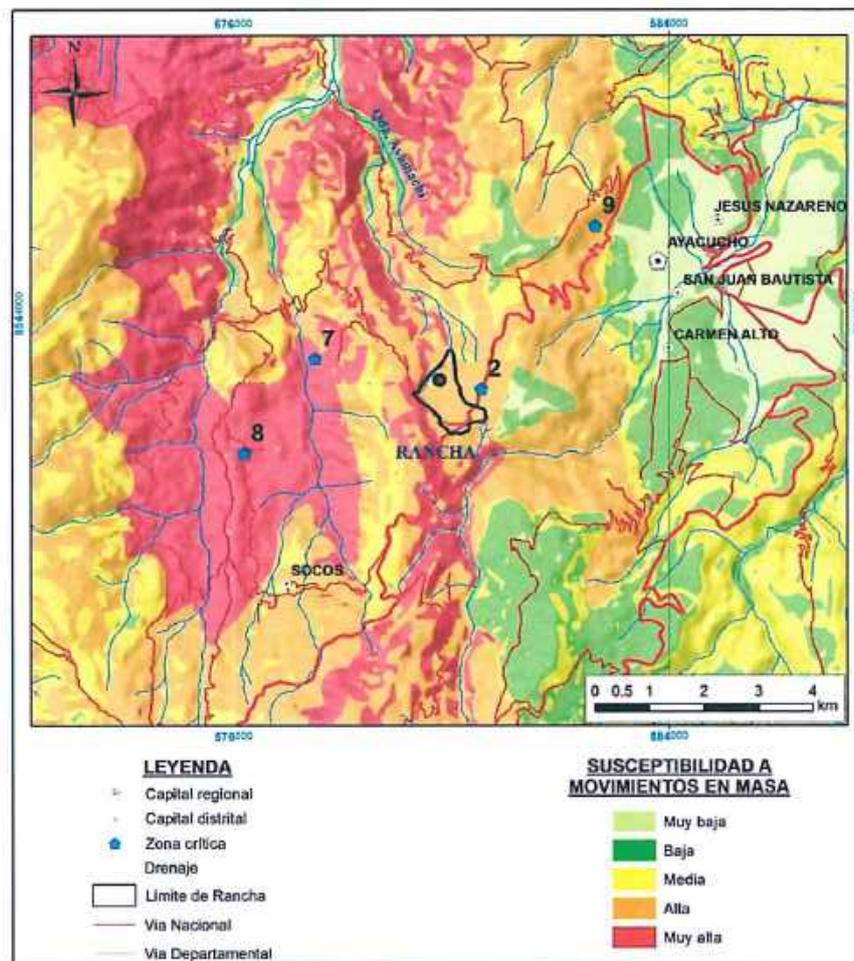


Figura 1: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa (Vilchez, M. y Ochoa, M., 2019).

- En el Boletín N° 61, serie A, Carta Geológica Nacional: “**Geología del cuadrángulo de Ayacucho**” (1995), se describe la geología presente en la zona evaluada, donde se exponen rocas de edad Cenozoica de naturaleza sedimentaria, volcánica y volcánico-sedimentaria.
- La “Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho” (2003), se realiza un cartografiado al detalle de la geología del sector noroeste del cuadrángulo de Ayacucho; revisa la definición de la Formación Huanta; cartografía detallada de la Formación Ayacucho, resaltando los niveles de tobas; hace una redefinición

estratigráfica de la Formación Tiellas, antes llamada Formación Socos; definición y cartografía de lineamientos regionales, que pueden representar fallas profundas.

Se puede mencionar dentro de los trabajos realizado por INGEMMET cerca del centro poblado de Rancho al siguiente informe técnico:

- El informe técnico “Deslizamiento de tierras en las vecindades del pueblo de Socos” (1967), se estudia cuatro eventos ocurridos en la localidad de Socos entre los meses de abril y junio de ese año; se describe la geología de la zona, se determinan las causas de la ocurrencia de los deslizamientos y se dan recomendaciones para resguardar los bienes y vida de las personas.

2. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona estudiada corresponde al centro poblado de Rancho, ubicado en línea recta a 4.7 km al suroeste de la ciudad de Ayacucho, que pertenece al distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, región de Ayacucho (figura 2); se encuentra localiza en coordenadas centrales UTM (WGS84 – Zona 18S) siguientes:

| Centro poblado de Rancho | | |
|--------------------------|--------|--------------|
| Norte | Este | Altitud |
| 8542749 | 579776 | 3208 m s.n.m |

El acceso a la zona de estudio, desde la ciudad de Lima, es por vía terrestre, para ello se debe seguir por la Carretera Panamericana Sur y la Carretera Los Libertadores en la siguiente ruta: Lima-San Clemente-Humay-Huancano-Huaytará-Vinchos-antes de llegar a la ciudad de Ayacucho desviar hacia Rancho, por un tiempo estimado de 8 h 32 min, a través de 559 km aproximadamente (cuadro 1).

Cuadro 1: Rutas de acceso a la zona evaluada

| Desde | Vía | Kilómetros | Tiempo estimado |
|---|--|------------|-----------------|
| Lima a San Clemente (Pisco) | 1S – asfaltada (Panamericana Sur) | 244 km | 3 h 22 min |
| San Clemente – Huaytará – desvío Rancho | 28A – asfaltada (Carretera Los Libertadores) | 314 km | 5 h 06 min |
| Desvío-Rancho (Plaza de Armas) | Carretera afirmada | 1 km | 04 min |

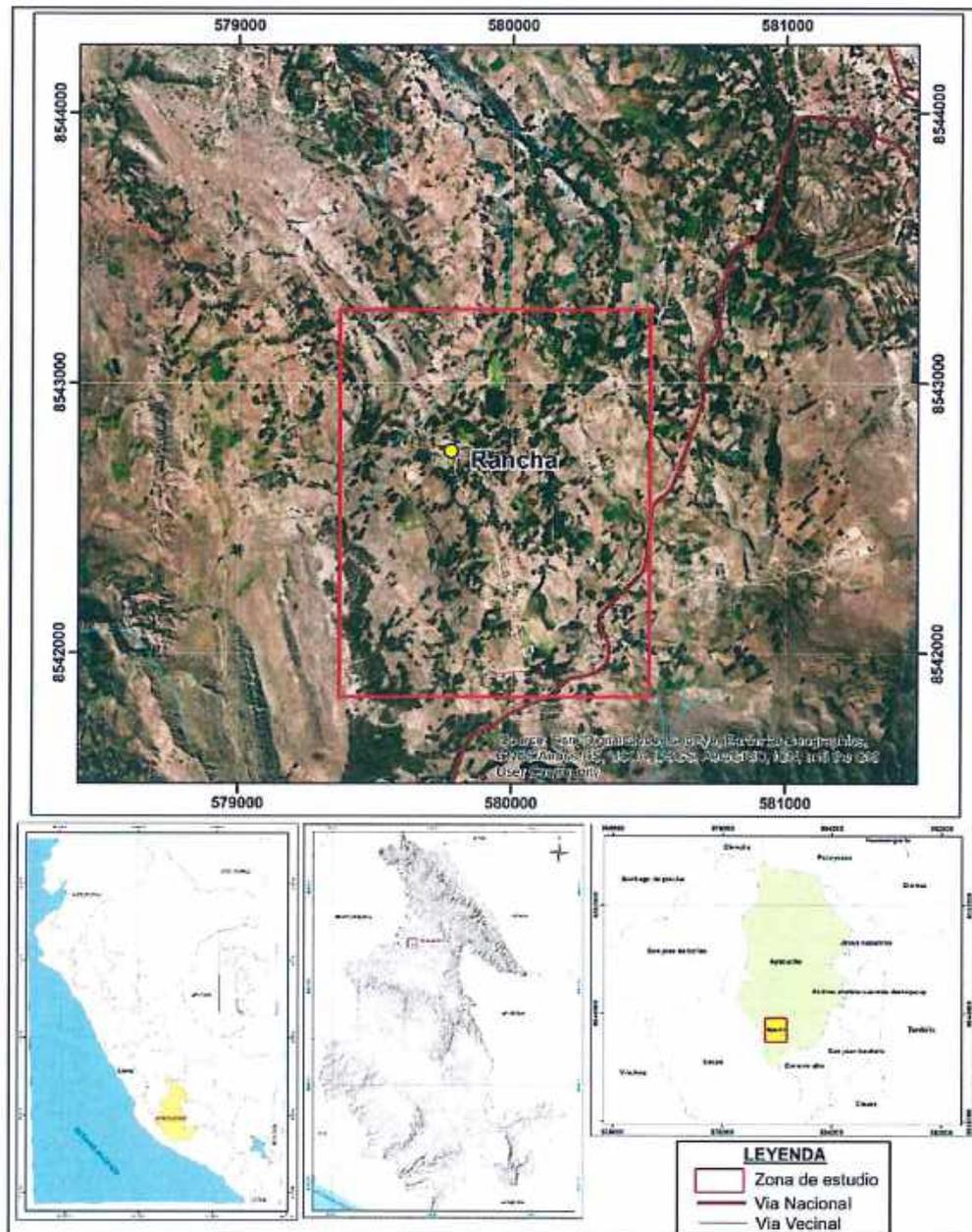


Figura 2: Mapa de ubicación de la zona inspeccionada.

2.2 Clima e hidrografía

De acuerdo con los datos climáticos (clasificación climática por el método de Thornthwaite), en el ámbito del centro poblado de Rancho se tiene los siguientes tipos climáticos (SENAMHI):

- En la localidad de Rancho corresponden a una zona de clima frío, lluvioso, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda [B(o,i) C' H3].
- Para el lado este de la localidad de Rancho, en la parte alta de las montañas en dirección hacia la ciudad de Ayacucho el clima es semiseco, templado, con deficiencia de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa calificada como húmeda [C(o,i) B'2 H3]

En cuanto a la cantidad de lluvia, según el mapa de precipitación acumulada durante el periodo lluvioso normal elaborado por SENAMHI, se puede ver que la localidad de Rancho se tiene un acumulado promedio de 500 mm; esta condición puede cambiar cuando se presenta el fenómeno

El Niño en la zona, como sucedió el año 1997-1998, donde se registraron valores de precipitación de hasta 600 mm.

La red hidrográfica está conformada por los cursos de primer orden de la quebrada Ayamachi, que es afluente por la margen derecha del río Chillico, que confluye a su vez por la margen derecha del río Cachi; este último tributario del río Mantaro.

3. GEOLOGÍA

En el contexto regional las unidades geológicas que afloran en la zona de estudio son de origen sedimentario, volcánico y volcánico-sedimentario; la base de la secuencia estratigráfica está conformada por el secuencias sedimentarias de la Formación Ticllas, del Paleógeno; le siguen rocas volcánico-sedimentarias de la Formación Sallalli; los miembros sedimentario de las formaciones Huanta (Miembro Tingrayoc) y Ayacucho Inferior, del Neógeno; finalmente se tiene niveles volcánicos de la Formación Huari del Plioceno (Rodríguez y Chacaltana., 2003).

A continuación, se presenta de manera resumida una descripción de las principales formaciones geológicas que afloran en el sector de Chalaypampa y alrededores.

3.1 Unidades litoestratigráficas

Formación Ticllas (Ppe-t): Es una secuencia de capas rojas granodecreciente, se encuentra rellenando paleorelieves, en discordancia angular debajo de las formaciones Sallalli y Huanta; la base tiene 50 m de conglomerados bien consolidado, intercalados con areniscas rojas en matriz calcárea, con algunos niveles de yeso; en la parte superior se tienen areniscas con laminación sesgada intercaladas con limolitas y arcillitas rojizas (figura 3). Se le asigna a la formación una edad Paleoceno-Eoceno. La presencia de nivel de yeso la hace de baja calidad.

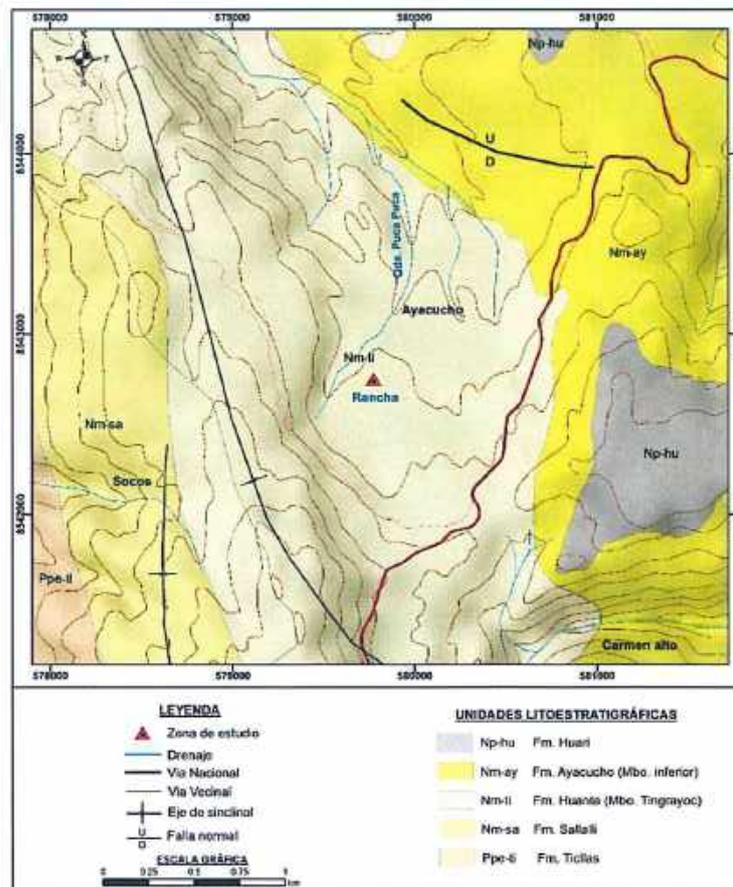


Figura 3: Mapa geológico de la zona inspeccionada.

Formación Sallali (Nm-sa): Se trata de una serie volcánico-sedimentaria conformada por una secuencia de conglomerados correspondiente a abanicos aluviales, intercalada con algunos niveles de tobas blancas, intercalándose luego niveles de lavas andesíticas con espesores de hasta 100 m (figura 3). Se le asigna a esta formación una edad del Mioceno medio (Burdigiliano a Langhiano).

Formación Huanta (Nm-ti): Es una secuencia volcano-sedimentario, se encuentra en contacto discordante y angular sobre la Formación Tiellas e infrayace en la misma relación con la Formación Ayacucho; se extiende en una dirección nor-noroeste a sur-sureste, está conformada por tres miembros, denominados Mayoc, Tancas y Tingrayoc; siendo esta última la que aflora en los alrededores de la zona evaluada.

Miembro Tingrayoc: Secuencia sedimentaria, se caracteriza por estar conformada por una intercalación de limoarcillitas rojizas, conglomerados polimícticos, areniscas y lodolitas. Las limoarcillitas tienen una estructura laminar; los conglomerados son de naturaleza polimíctica (fragmentos que lo conforman son derivados de varios tipos de rocas); los estratos son por lo general de más de 30 cm de espesor y se inclinan a favor de la pendiente de la ladera (figura 3 y fotografía 1); la secuencia se presenta poco resistente y deleznable que se disgrega con facilidad. Se le asigna a esta formación una edad Mioceno medio-superior (Serravaliano-Tortoniano).

Estas rocas al descomponerse conforman un suelo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, de plasticidad media y de baja permeabilidad, de mala calidad geotécnica. Dentro de esta formación se han identificado escarpas y cicatrices de deslizamientos antiguos.



Fotografía 1: Vista con dirección al oeste de la margen izquierda de la quebrada Puca Puca tributario de la quebrada Ayamachi, donde se puede observar la secuencia sedimentaria del Miembro Tingrayoc de la Formación Huanta; en la parte superior se tienen conglomerado de color verde, hacia abajo intercalaciones de areniscas y arcillitas de color pardo a rojizo.

Formación Ayacucho (Nm-ay): Se trata de una secuencia sedimentaria granodecreciente que se divide en dos miembros; el inferior está conformado por conglomerados cuyos clastos son de origen volcánico producto de la erosión del Grupo Mitu y de fragmentos intrusivos que provienen del complejo granítico Querobamba; se tienen también tres niveles de tobas, con líticos y pómez envueltos en una matriz de ceniza (figura 3). La secuencia superior tiene contacto concordante con las tobas de la secuencia inferior y se compone de limolitas, areniscas y algunas arcillitas con

intercalaciones de cenizas volcánicas y niveles de diatomitas; se consideran de mala calidad geotécnica. Se le asigna a la formación una edad Mioceno Superior (Tortoniano-Messiniano).

Formación Huari (Np-hu): Está conformada por pequeños conos de escorias; litológicamente está compuesta por lavas grises oscuras afaníticas, con cristales de plagioclasa y en algunos casos biotita de composición shoshonítica, depositadas sobre algunos eventos freatomagmáticos (figura 3); se le asigna a este evento volcánico una edad Plioceno.

4. GEOMORFOLOGÍA

4.1 Pendiente de terreno

En el centro poblado de Rancho y alrededores se encuentran en una ladera cuyos rangos de pendientes van desde la conformación de terrenos llanos ($< 1^\circ$), que pasan a suavemente inclinados ($1^\circ-5^\circ$) y de inclinación moderada ($5^\circ-15^\circ$), conformando una amplia depresión de dirección norte sur, originada por la erosión fluvial y la actividad geodinámica; se encuentra rodeado por pendientes fuerte ($15^\circ-25^\circ$) a muy escarpadas ($25^\circ-45^\circ$) que corresponde laderas de montañas y valles profundos, resultantes de una intensa erosión y desgaste de la superficie terrestre (figura 4).

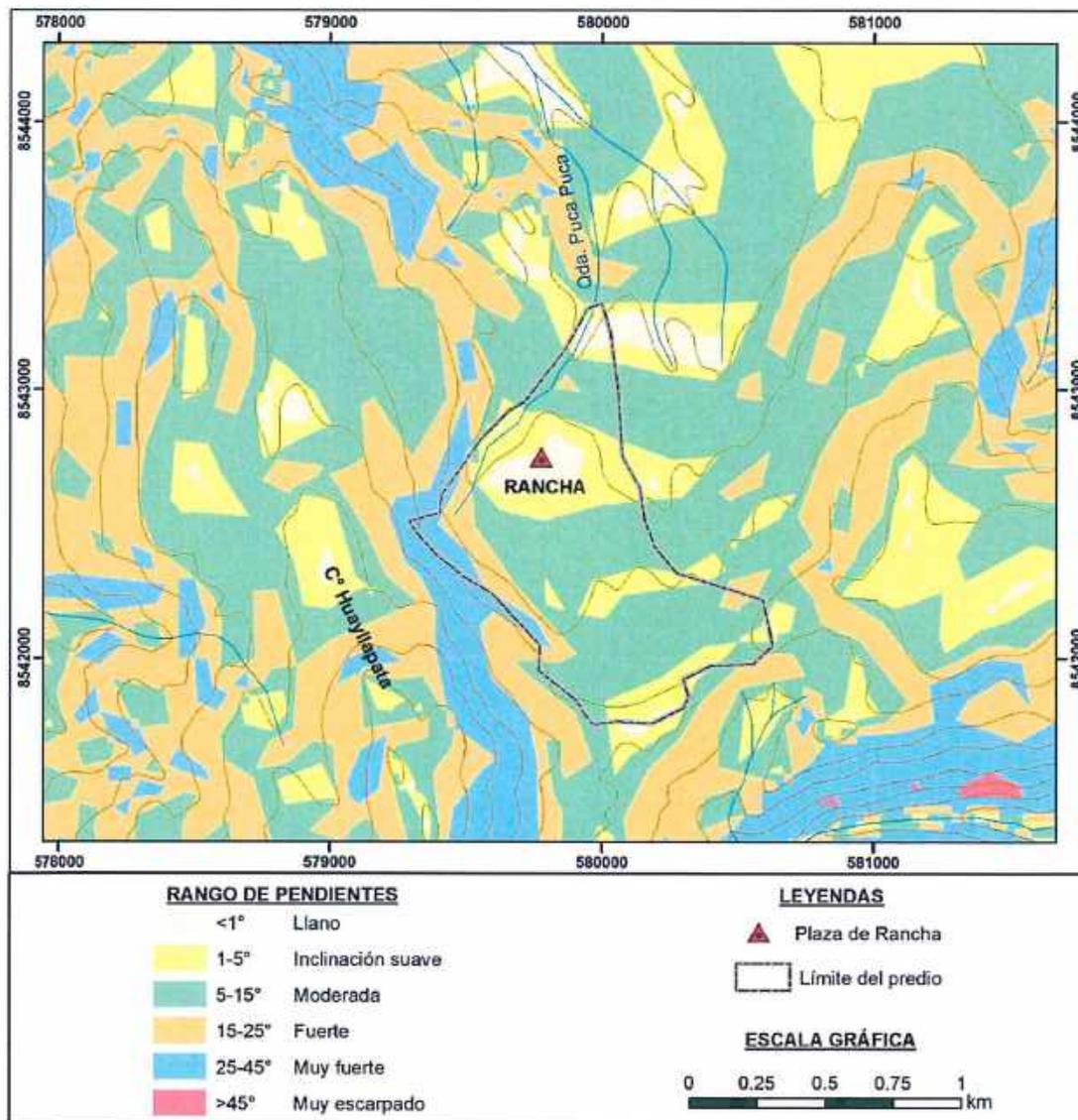


Figura 4: Mapa de pendientes de la zona inspeccionada y alrededores.

4.2 Unidades geomorfológicas

En la zona inspeccionada y alrededores se han identificado las siguientes geoformas:

4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y denudacional

Resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). Así en el área evaluada se tienen:

Unidad de montañas: Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; diferenciándose las siguientes subunidades según el tipo de roca que las conforman y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de Montañas en roca sedimentaria (RM-rs): Estas montañas han sido levantadas por la actividad tectónica y su morfología actual depende de procesos exógenos degradacionales determinados por la lluvia-escorrentía, los glaciares y el agua de subsuelo, con fuerte incidencia de la gravedad. En estas montañas el plegamiento de las rocas superficiales no conserva rasgos reconocibles de las estructuras originales, sin embargo, estas pueden presentar localmente laderas controladas por la estratificación de rocas sedimentarias, sin que lleguen a constituir cadenas montañosas (figuras 5 y 6).

En la zona evaluada corresponde a montañas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias de las formaciones Ticllas y Ayacucho, y el miembro sedimentario de la Formación Huanta, denominado Tingrayoc; las rocas son de tipo areniscas con intercalaciones de limolitas y arcillitas; conglomerados con matriz arenosa intercaladas con areniscas. Geodinámicamente asociadas a la ocurrencia de derrumbes, megadeslizamientos, flujos de detritos y procesos intensos de erosión de laderas.

Subunidad de Montañas en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs): Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de asociaciones de rocas volcánico-sedimentarias, de tipo conglomerados con matriz arenosa, limolitas y lavas volcánicas con textura laminar de composición andesítica, esporádicamente se presentan niveles de tobas de la Formación Sallalli (figura 6). Se asocia a la ocurrencia de grandes deslizamientos, derrumbes, caída de rocas, flujos y movimientos complejos.



Figura 5: Vista con dirección al sureste donde se observa las montañas conformadas por la secuencia sedimentaria del miembro Tingrayoc de la Formación Huanta; en la parte baja se observa parte de la vertiente con depósito de deslizamiento.

Subunidad de coladas o campo de lavas basalto-andesítica (Ca-la): Esta subunidad configura paisajes de forma de lenguas alargadas, relativamente estrechas y delgadas, con varios lóbulos frontales empinados (frentes de lava). Su altura está en función de la viscosidad y volumen de la lava. Se le encuentra en el lado este de la zona inspeccionada, coronando las montañas modeladas en roca sedimentaria, está conformado por lavas shoshonítica (figura 6).

4.2.2 Geformas de carácter depositacional y agradacional

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

A) UNIDAD DE PIEDEMONTE

Acumulación de material muy heterogéneo, constituido por bloques, cantos, arena, limos y arcilla inconsolidados ubicado al pie de las cadenas montañosas; estos depósitos pueden ocupar grandes extensiones. Se identificó la siguiente subunidad:

Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles. Su morfología es usualmente convexa y su disposición es semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa, también se incluye deslizamientos en procesos de formación cuya escarpa ya ha definido un cuerpo, que tienen avance lento.

Se relacionan con rocas de diferente naturaleza litológica, ya que es posible encontrarlas comprometiendo todo tipo de rocas. Geodinámicamente, se asocia a reactivaciones en los materiales depositados por los movimientos en masa antiguos (generación de flujo y movimientos

complejos), así como por nuevos aportes de material provenientes de la actividad retrogresiva de eventos activos.

Esta subunidad forma la depresión donde se encuentra asentado el centro poblado de Rancho; presenta un terreno plano ondulado hasta escalonado, que forma pequeñas colinas y lomadas, donde se forman cuencas pequeñas que permite la acumulación de agua que forman pequeñas lagunas o bofedales (figuras 5 al 9 y fotografía 2).

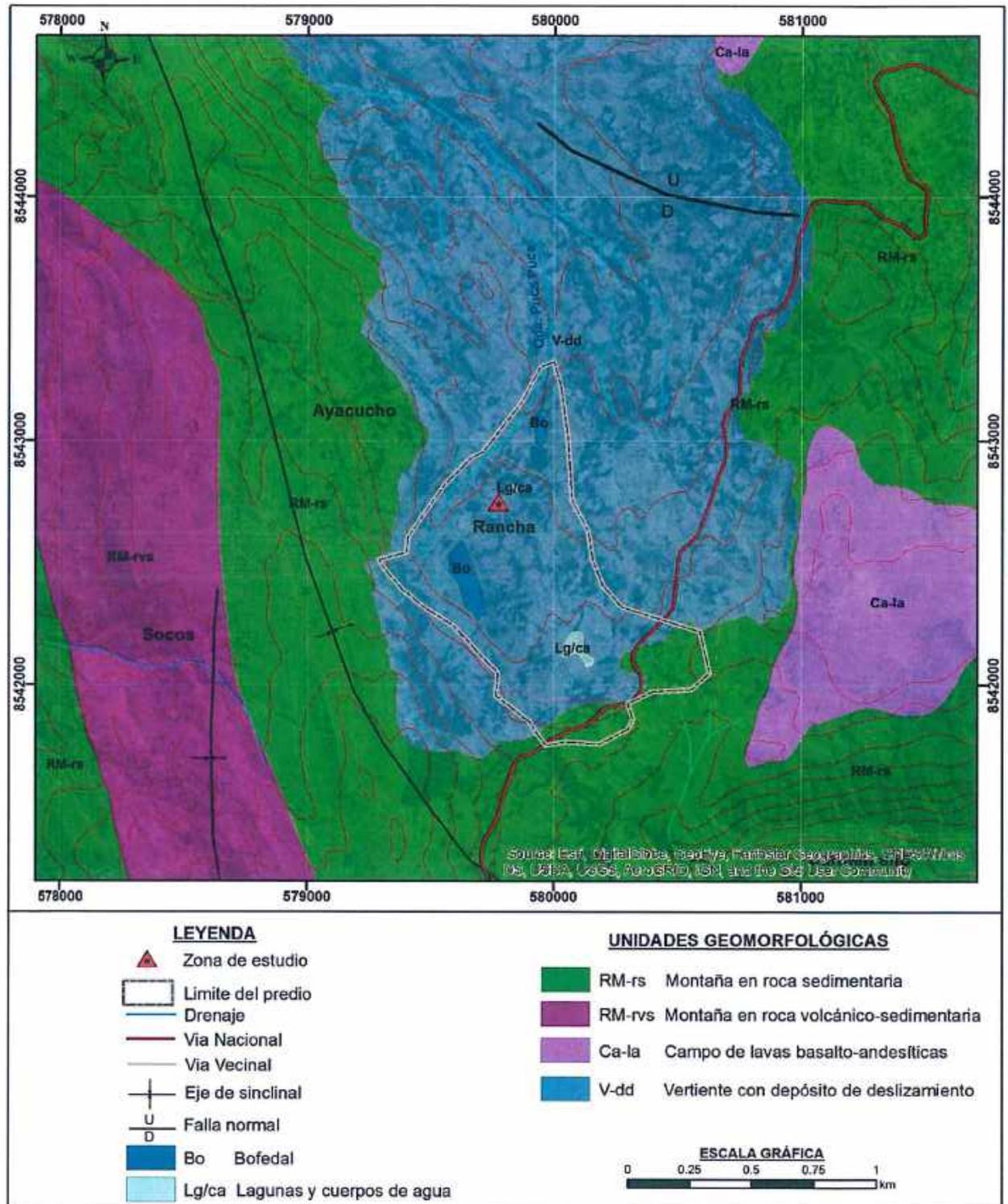


Figura 6: Mapa geomorfológico de la zona inspeccionada y alrededores.



Figura 7: Vista con dirección al norte donde se puede ver las colinas en el sector de Chuspicocha.



Figura 8: Vista con dirección al noreste del sector Hatun Pampa, donde se puede observar la cuenca formada en una concavidad del terreno ocupada por un bofedal y que además sirve de cuenca de acumulación de flujos de agua y detritos que acarrear las cárcavas que confluyen en este sector.



Figura 9: Vista con dirección al oeste donde se puede observar a la laguna de Chanchoccocha formada en una concavidad del terreno.



Fotografía 2: Vista con dirección al norte donde se puede apreciar la laguna de Rancho.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS - CONCEPTOS GENERALES

Los peligros geológicos identificados en la zona inspeccionada y sus alrededores corresponden a los subtipos agrupados en la clase de movimientos en masa y los denominados otros peligros geológicos, los cuales serán descritos a continuación.

5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa

Los de peligros geológicos reconocidos en la zona inspeccionada corresponden al grupo de los movimientos en masa, denominados como deslizamientos, flujo de detritos, reptación y movimientos complejos (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en la Cordillera de los Andes por cursos de agua, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

5.1.1 Deslizamiento

Es un movimiento 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. Varnes (1978) clasifica los deslizamientos según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales.

En el anexo de Mutanga se identificó por medio de la interpretación de fotos aéreas e imágenes satelitales disponibles en la plataforma Google Earth de diferentes años, la presencia de un megadeslizamiento rotacional que se está reactivando.

a) Deslizamiento rotacional

En este tipo de deslizamiento, la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla, curva cóncava. Los deslizamientos rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal (figura 10). La deformación interna de la masa desplazada es usualmente muy poca. Debido a que el mecanismo rotacional es autodeslizante y este ocurre en rocas poco competentes, la tasa de movimiento es con frecuencia baja, excepto en presencia de materiales altamente frágiles como las arcillas sensitivas. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.

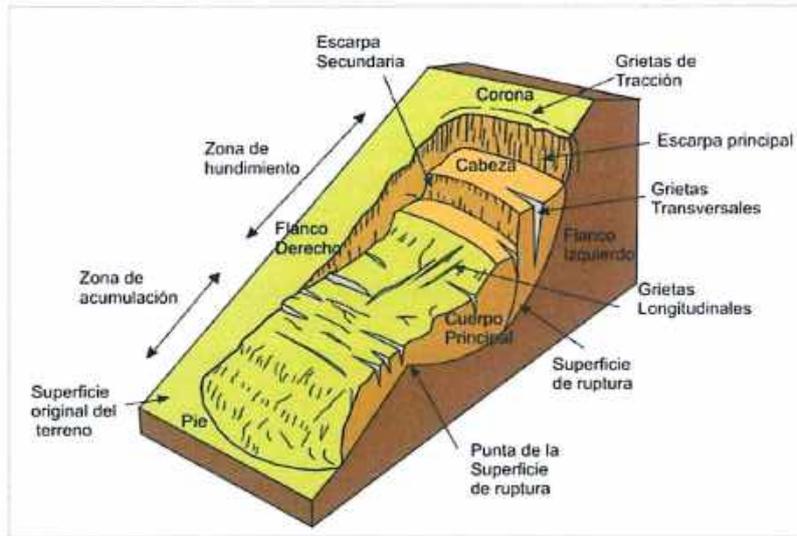


Figura 10: Esquema de un deslizamiento rotacional donde se muestran sus diferentes partes.

5.1.2 Flujo de detritos

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos (figura 11). Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de "u", trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

La mayoría de los flujos de detritos alcanzan velocidades en el rango de movimiento extremadamente rápido, y por naturaleza son capaces de producir la muerte de personas (Hungry, 2005).

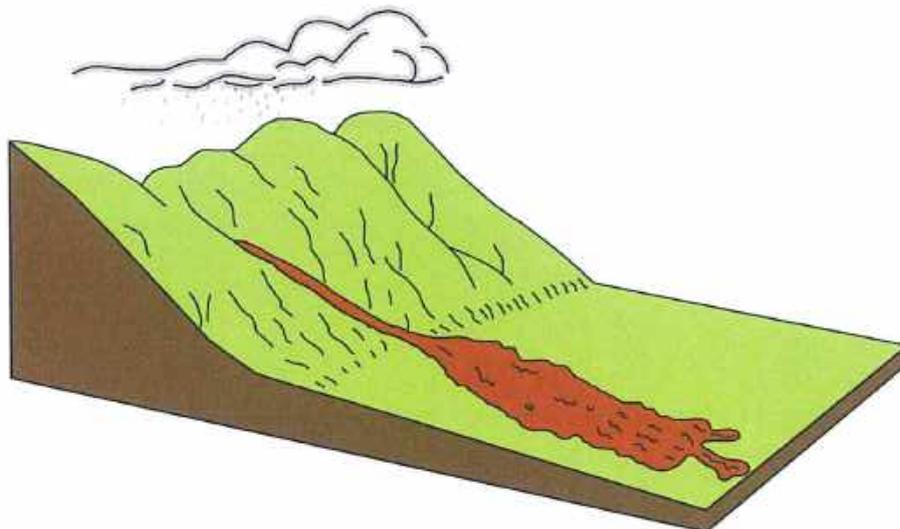


Figura 11: Esquema donde se muestra el depósito que forma un flujo de detritos.

5.1.3 Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo (figura 12).

Dentro de este movimiento se incluyen la soliflucción y la geliflucción; este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la soliflucción son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

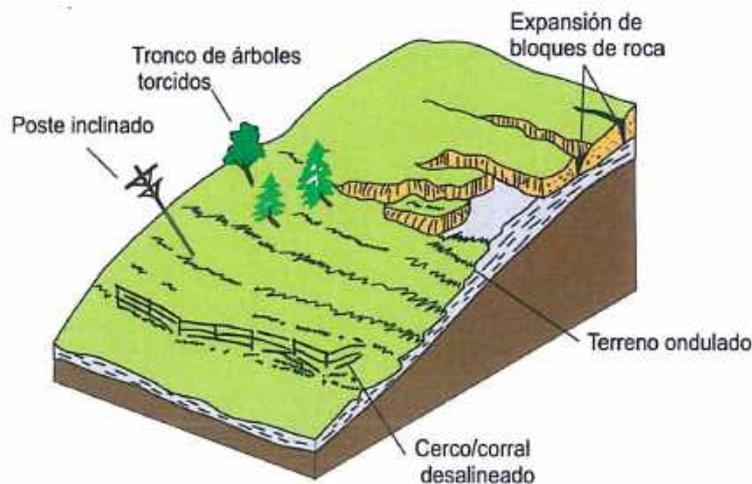


Figura 12: Esquema de una ladera afectada por reptación de suelos.

5.1.4 Flujo de tierra

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hung et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores de hasta metros por minuto (Hutchinson, 1998). Los volúmenes de los flujos de tierra pueden llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos. Las velocidades medidas en flujos de tierra generalmente están en el intervalo de 10^{-5} a 10^{-8} mm/s, y por tanto son generalmente lentos o extremadamente lentos.

5.1.5 Movimiento complejo

Son aquellos movimientos en masa que resultan de la combinación de dos o más tipos de movimientos en masa descritos anteriormente. Estos movimientos alcanzan generalmente gran tamaño (Antoine, 1992), afectando, a veces, a laderas completas. En la zona inspeccionada el movimiento complejo identificado está conformado por un deslizamiento rotacional en cabecera y un flujo de tierra en el cuerpo.

5.2 OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS

Dentro de esta clasificación se agrupan a los procesos que no han sido considerados como movimientos en masa, pero que en su origen y mecanismo de movimiento involucra material geológico, estos son los hundimientos, erosión de laderas, erosión fluvial y arenamientos. En la zona evaluada se identificó procesos de erosión de laderas intenso.

5.2.1 Erosión de laderas

Este tipo de proceso es considerado predecesor de la ocurrencia de grandes eventos de movimientos en masa. La erosión de los suelos es producto de la remoción del material superficial por acción del agua o viento. El proceso se presenta debido a la presencia de agua en forma de precipitación pluvial (lluvias) y escorrentías (escurrimiento), que entra en contacto con el suelo (figura 13). En el primer caso, por el impacto; y, en el segundo caso, por fuerzas tractivas que vencen la resistencia de las partículas (fricción o cohesión) del suelo y se generan los procesos de erosión (Duque et al., 2016).

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

Saltación pluvial. El impacto de las gotas de lluvia en el suelo desprovisto de vegetación ocasiona el arranque y arrastre de suelo fino. El impacto compacta el suelo, disminuye la permeabilidad e incrementa escorrentía.

Escurrimiento superficial difuso. Comprende la erosión laminar sobre laderas carentes de coberturas vegetales y afectadas por saltación pluvial, que estimula el escurrimiento del agua arrastrando finos.

Escurrimiento superficial concentrado. Se produce en 2 formas: surcos de erosión (canales bien definidos y pequeños, formados cuando el flujo se hace turbulento y la energía del agua es suficiente para labrar canales paralelos o anastomosados) y cárcavas (son canales o zanjas más profundos y de mayor dimensión, por las que discurre agua durante y poco después de haberse producido una lluvia). El proceso se da en 4 etapas: 1) entallamiento del canal, 2) erosión remontante o retrogresiva desde la base, 3) cicatrización y 4) estabilización (Duque et al., 2016).

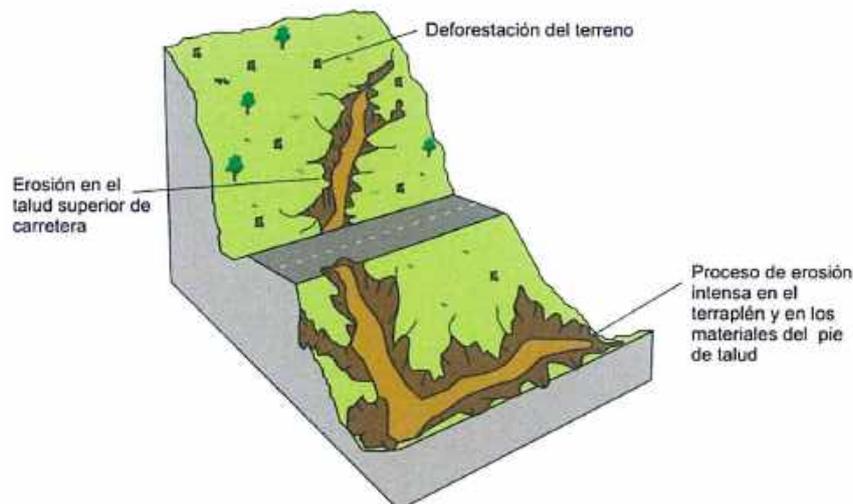


Figura 13: Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO DE RANCHA Y ALREDEDORES

6.1 Movimiento complejo de Rancho

Corresponde a mega-evento antiguo catalogado como movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra), cuya escarpa se desarrolla entre los cerros Huayllapata y Buena Vista; el evento en general es la consecución de la activación de varios eventos ocurridos en las cimas de los cerros (se puede observar varias escarpas de deslizamiento), cuya cronología es difícil de establecer.

El movimiento complejo tiene una longitud de escarpa aproximada de 2,8 km y una longitud horizontal entre la escarpa y la punta de 5.6 km y estaría afectando tanto el suelo como parte del substrato rocoso (figuras 14 y 20). En el área que comprende el cuerpo del movimiento complejo se presenta una topografía característica ondulada, por la presencia de colinas o hummocks, con pendientes contrarias a la pendiente general de la ladera, lo que condiciona la formación de cuencas o estancamiento de agua que permite a su vez el desarrollo de lagunas y bofedales (lagunas de Rancho y Chanchococha). Es posible observar sobre el depósito dejado por el movimiento complejo cerca de la zona de escarpa, bloques de roca de tipo conglomerados con longitudes de hasta 4 m (fotografía 3).



Figura 14: Vista con dirección al oeste del cerro Huayllapata donde se ha delimitado con línea de color rojo la escarpa del movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra).



Fotografía 3: Vista de los bloques de roca de tipo conglomerados en la superficie del depósito del movimiento complejo.

El tipo de roca comprometida son conglomerados de la Formación Ayacucho, intercalaciones de limoarcillitas rojizas, conglomerados polimícticos, areniscas y lodolitas del miembro Tingrayóc de la Formación Huanta; que se presentan poco resistente y deleznable, que se disgrega con facilidad, por lo que se considera de mala calidad geotécnica, se evidencian afloramientos del substrato en las márgenes abruptas de la quebrada Puca Puca (fotografía 1). Las rocas del substrato al descomponerse conforman un suelo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, de color pardo, plasticidad media y de baja permeabilidad.

El perímetro del centro poblado de Rancho se encuentra dentro del cuerpo movimiento complejo, cerca de la zona de arranque, asentado sobre un terreno que se presenta ondulado a plano-ondulado, con pendientes que configuran terrenos llanos ($< 1^\circ$) a terrenos de pendiente moderada (15°).

El movimiento complejo aparece limitado en su flanco izquierdo por cárcavas, así también ha sido efecto de reactivaciones puntuales de tipo deslizamiento rotacional. Dentro del área que comprende el cuerpo del movimiento complejo se observaron agrietamientos en el terreno en el punto de control N° 2763, con aberturas del orden de los 2 cm, que siguen una dirección de N 315° , configurando una grieta longitudinal a la dirección de avance del movimiento complejo (figura 15).



Figura 15: Grietas abiertas en el punto de control N° 2763 con abertura de hasta 2 cm.

Es importante señalar que también se encontró agrietamientos en las paredes de adobe de viviendas en los sectores de Rancho, Chanchococha y Chupicocha, sectores que se encuentran dentro del perímetro del centro poblado de Rancho; los agrietamientos alcanzan los 0.15 m de abertura y 0.10 m de basculamiento. También se encontró agrietamientos y deformación en la plataforma asfaltada de la carretera Los Libertadores (cuadro 2 y figura 16).

| Código | Punto de control | Sector | Coordenadas | |
|--------|------------------|--------------|-------------|---------|
| | | | Este | Norte |
| G2 | 2767 | Chanchococha | 579945 | 8542339 |
| G3 | 2768 | Chanchococha | 579912 | 8542324 |
| G4 | 2770 | Chanchococha | 579970 | 8542296 |
| G5 | 2771 | Chanchococha | 579983 | 8542203 |
| G6 | 2772 | Chanchococha | 580155 | 8542062 |
| G10 | 2778A | Chuspicucho | 580081 | 8542404 |
| R1 | 2779 | Chuspicucho | 580028 | 8542710 |
| R2 | 2780 | Rancho | 579946 | 8542750 |
| G13 | 2782 | Rancho | 580217 | 8541958 |

Cuadro 2: Sectores ubicados dentro del perímetro del centro poblado de Rancho donde se identificó viviendas con paredes agrietadas.

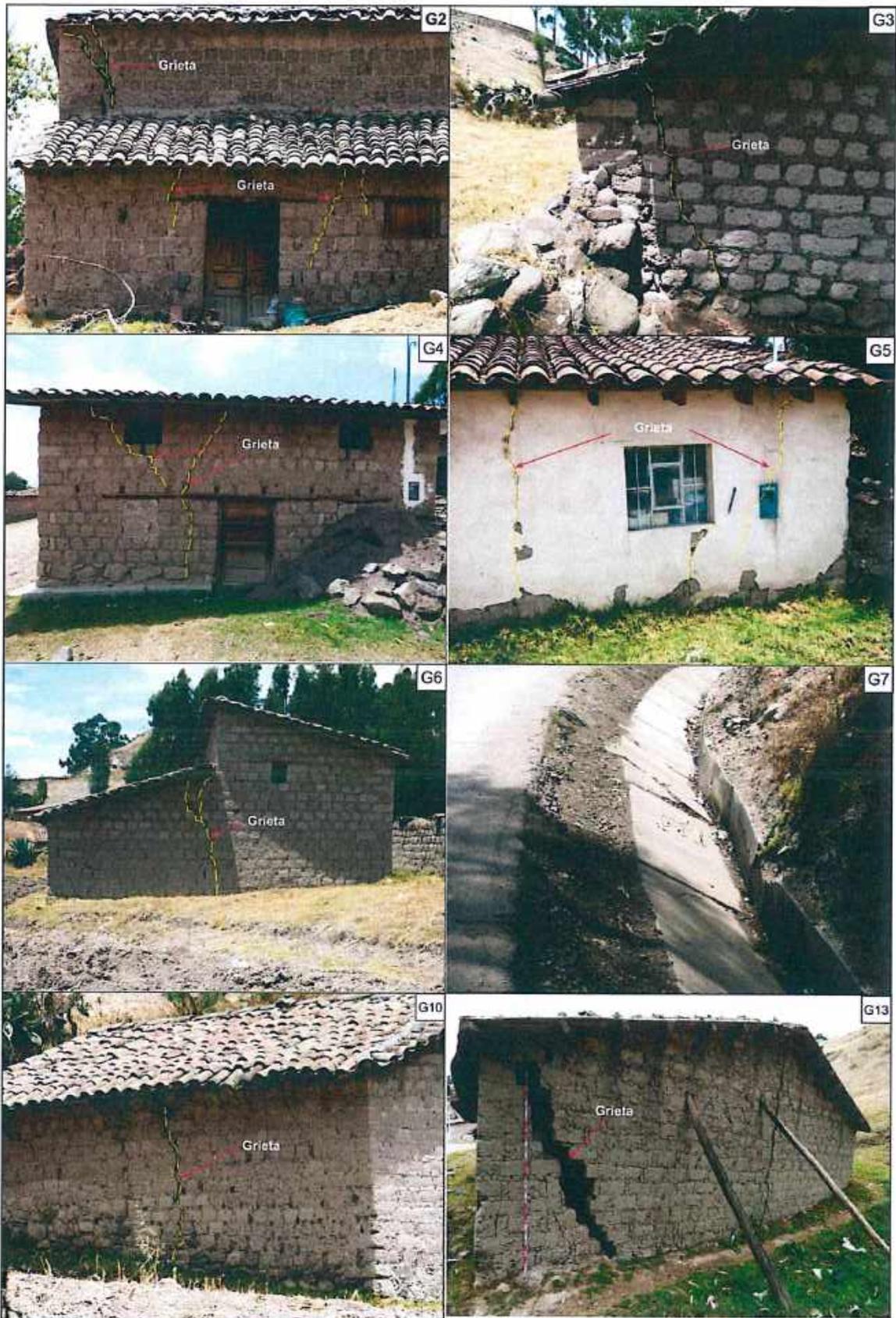


Figura 16: En las imágenes es posible observar los agrietamientos en paredes de adobe de viviendas en los sectores de Chanchoccocha y Chuspicocha; así como el empuje y agrietamientos en la cuneta y plataforma de la carretera Los Libertadores.

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (montañas modeladas en rocas sedimentarias), disectadas por quebradas.
- Características litológicas del área (afloramiento de areniscas, arcillitas, limolitas y conglomerados), de una calidad geotécnica mala, poco consolidado.
- Substrato rocoso con un grado de meteorización moderado.
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, que al saturarse pierden cohesión e incrementan su plasticidad.
- Orientación desfavorable de las capas de roca sedimentaria, en la misma dirección de la ladera.
- Vegetación escasa en la zona (pastos, matorrales y arboles de reforestación).

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan.
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua y formación de bofedales).
- Actividad sísmica.

6.2 Deslizamiento rotacional D1 en la carretera Los Libertadores

En el km 321+500 de la carretera Los Libertadores, se identificó un deslizamiento rotacional activo denominado como D1, que corresponde a una reactivación ubicada dentro del cuerpo del movimiento complejo descrito en el acápite anterior, en coordenadas UTM WGS-84: 8542005 N, 580357 O y 3276 m s.n.m (figura 20).

El deslizamiento tiene una longitud de escarpa de 75 m, con un salto principal de aproximadamente 0.50 m (figura 17), produce el empuje o desplazamiento horizontal de la carretera y cuneta de concreto en una longitud de 1 m (figura 18); el evento compromete secuencia de areniscas y limolitas del miembro Tingrayoc, así como el relleno de plataforma de la carretera; el deslizamiento tiene un área aproximada de 2950 m².

El deslizamiento se manifiesta con el asentamiento y formación de irregularidades en la plataforma de carretera (fotografía 4), que conlleva a la pérdida del asfalto que dificulta el tránsito de vehículos; se observa paredes de adobe de viviendas agrietadas (fotografía 5), así como también produjo la destrucción de la infraestructura de concreto de un grifo ubicado en esta zona (fotografía 6).



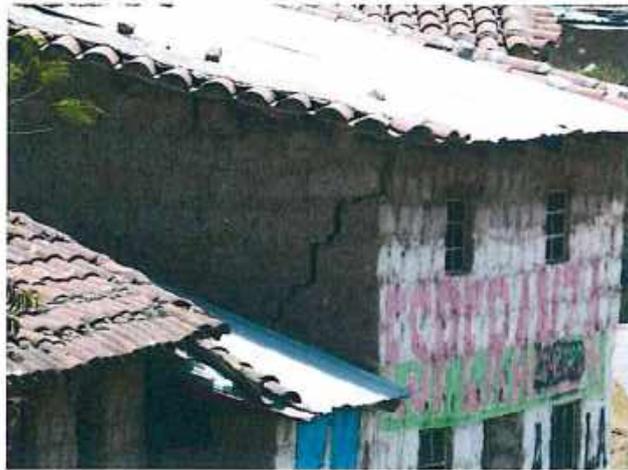
Figura 17: Vista del salto principal del deslizamiento D1, produce asentamiento de la carretera Los Libertadores.



Figura 18: Vista donde se puede apreciar el desplazamiento horizontal de un metro que afecta la cuneta y carretera Los Libertadores.



Fotografía 4: Vista donde se puede apreciar la pérdida de asfalto y las irregularidades en la carretera a consecuencia del asentamiento provocado por el deslizamiento D1.



Fotografía 5: Vista en la que se puede ver el agrietamiento en paredes de adobe de vivienda localizada dentro de la zona de deslizamiento D1.



Fotografía 6: Vista en la que se puede apreciar los daños sufridos en la estructura de grifo de combustible ubicado en la zona de arranque del deslizamiento D1.

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (vertiente con depósito de deslizamiento).
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas, areniscas, conglomerados).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Substrato rocoso con un grado de meteorización moderado.
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, que al saturarse pierden cohesión e incrementan su plasticidad.
- Presencia de material de remoción antiguo (movimiento complejo), susceptible a que en él se generen nuevos movimientos en masa.
- Vegetación escasa (pastos)

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan.
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua).

Factores antrópicos:

- Corte y relleno artificial en la ladera para la construcción de la carretera.
- Mal estado de cuneta de concreto, se presenta agrietada por donde se infiltra agua al suelo.

6.3 Reptación en Chuspichucho y Rancho

Se identificó dentro de perímetro del centro poblado de Rancho, en los sectores de Chuspichucho y Rancho, dos zonas donde se viene produciendo reptación de suelos, denominados como R1 y R2, en coordenadas UTM WGS-84: 8542710 N, 580028 O y 85427750N y 579946 O, respectivamente (figura 20).

El evento se manifiesta en ambos sectores con la presencia de irregularidades en el terreno y la trocha carrozable, así como asentamiento y empuje de la plataforma de la vía; el evento también viene produciendo agrietamiento en las paredes de adobe de viviendas asentadas en esta zona (fotografías 7 a la 10).

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (vertiente con depósito de deslizamiento).
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas, areniscas, conglomerados).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Substrato rocoso con un grado de meteorización moderado.
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, que al saturarse pierden cohesión e incrementan su plasticidad.
- Presencia de material de remoción antiguo (movimiento complejo), susceptible a que en él se generen nuevos movimientos en masa.
- Vegetación escasa (pastos)

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan.
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua).



Fotografía 7: Vista con dirección al suroeste, sector de chuspichucho, donde se puede ver irregularidades y la trocha de acceso al centro poblado de Rancho.



Fotografía 8: Vista con dirección al noreste, sector de Chuspichucho donde aprecia el agrietamiento en paredes de adobe de viviendas ubicadas dentro de la zona con reptación de suelos.



Fotografía 9: Vista con dirección al noreste, sector de rancho, donde se puede observar el asentamiento y empuje de la plataforma de la trocha que da acceso al poblado de Rancho.



Fotografía 10: Vista con dirección al norte donde se puede ver las paredes de adobe agrietada en una vivienda del poblado Rancho.

6.4 Flujo de detritos en el sector de Hatun Pampa

Dentro del perímetro de la localidad de Rancho, se identificó en el sector de Hatun Pampa, de coordenadas UTM WGS-84: 8542367 N, 579645 O y 3214 m s.n.m., la confluencia de flujos de detritos de volúmenes diferentes, hacia una cuenca cerrada o concavidad formada en el cuerpo del movimiento complejo antiguo, los materiales acarreados como flujos de detritos se depositan dentro de la cuenca formando pequeños conos (figuras 19 y 20).

Los flujos de detritos son acarreados desde cárcavas activas que se encuentran cortando la escarpa principal del movimiento complejo ubicada en el cerro Huayllapata, estas cárcavas cortan niveles de conglomerados, areniscas y arcillitas de la Formación Huanta (miembro Tingrayoc).

Es importante señalar que en esta zona también se acumula agua de precipitación pluvial formando un bofedal y si los volúmenes de agua son grandes puede formar una laguna.

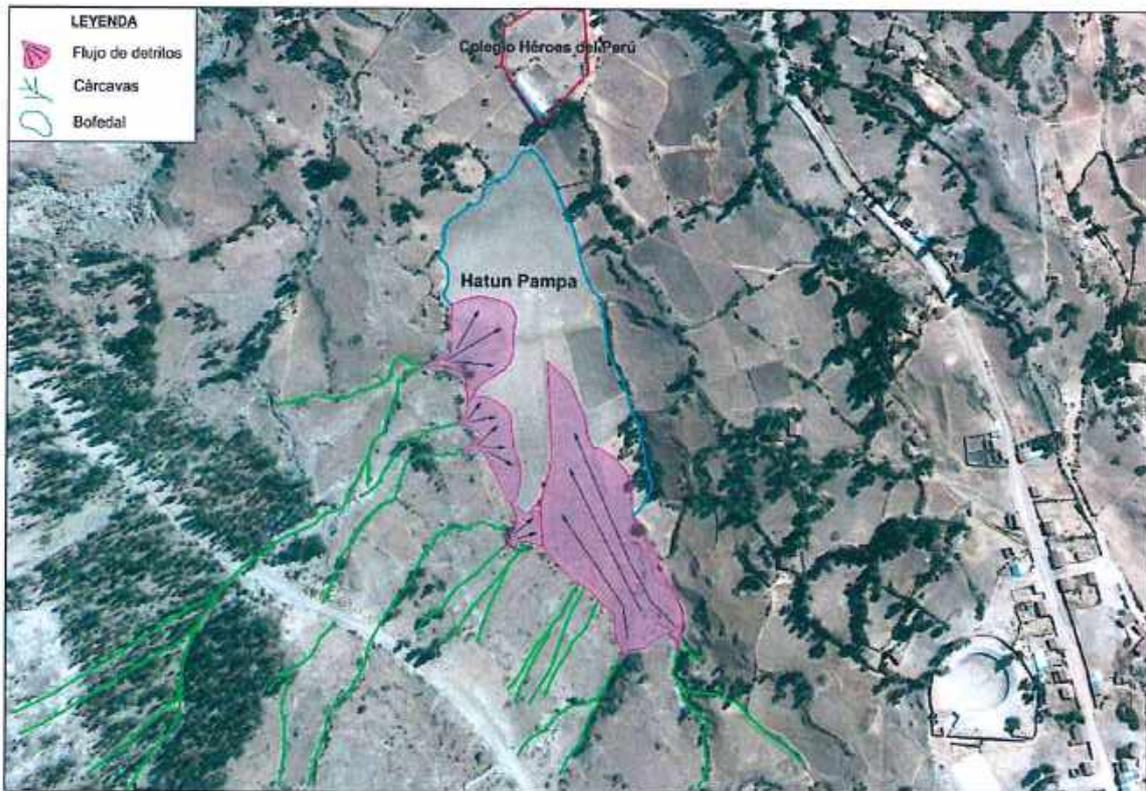


Figura 19: Imagen Google Earth de fecha Octubre del 2010, en la que se ha delimitado los depósitos de flujos de detritos que forman conos dentro de la cuenca del sector de Hatun Pampa.

Causas:

Factores de sitio:

- Configuración geomorfológica del área (vertiente con depósito de deslizamiento, escarpa de deslizamiento).
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas, areniscas, conglomerados).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Substrato rocoso con un grado de meteorización moderado.
- Pendiente del terreno que va de fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°).
- Presencia de material de remoción antiguo (movimiento complejo), susceptible a que en él se generen nuevos movimientos en masa.
- Vegetación escasa (árboles de reforestación).

Del entorno geográfico:

- Precipitaciones pluviales intensas, que se concentran formando escorrentía superficial que arranca las partículas del suelo, formando surcos en un inicio, las cuales evolucionan a cárcavas.

6.5 Erosión de laderas en el cerro Huayllapata y la quebrada Puca Puca

Se identificó dos sectores donde se presentan procesos de erosión de laderas fuera de los límites del perímetro del centro poblado de Rancho, pero que sin embargo los productos que acarrear se depositan dentro del perímetro del centro poblado o cuyo avance o crecimiento de la cárcava se encuentra muy cerca de este perímetro.

El primer sector ubicado en la ladera este del cerro Huayllapata, se trata de un conjunto de surcos y cárcavas de poca profundidad, que se disponen de forma paralela y cortan secuencias de conglomerados, areniscas, arcillitas y limolitas.

El proceso de incisión, profundización y ensanchamiento de las cárcavas acarrear material detrítico formando flujos de detritos, que son depositados en la cuenca endorreica del sector de Hatun Pampa (figura 19).

El segundo sector afectado con erosión de laderas de tipo cárcavas corresponde a la quebrada Puca Puca, ubicada al extremo noroeste y muy cerca del perímetro del centro poblado de Rancho; cuyo desarrollo por ensanchamiento, por medio de derrumbes y deslizamiento hacia la cara libre de la cárcava puede afectar los vértices U, V, W y X del perímetro (figura 20). Las cárcavas tienen una profundidad aproximada de 25 m y 80 m de ancho.

El proceso de erosión en cárcavas afecta secuencias sedimentarias compuestas por limolitas, arcillitas, conglomerados y areniscas del Miembro Tingrayoc de la Formación Huanta, que se encuentran poco consolidadas y moderadamente meteorizada.



Fotografía 11: Vista con dirección al suroeste, donde se puede apreciar la quebrada Puca Puca afectada por profundización y ensanchamiento, corta secuencia sedimentaria de limolitas, arcillitas, conglomerados y areniscas.

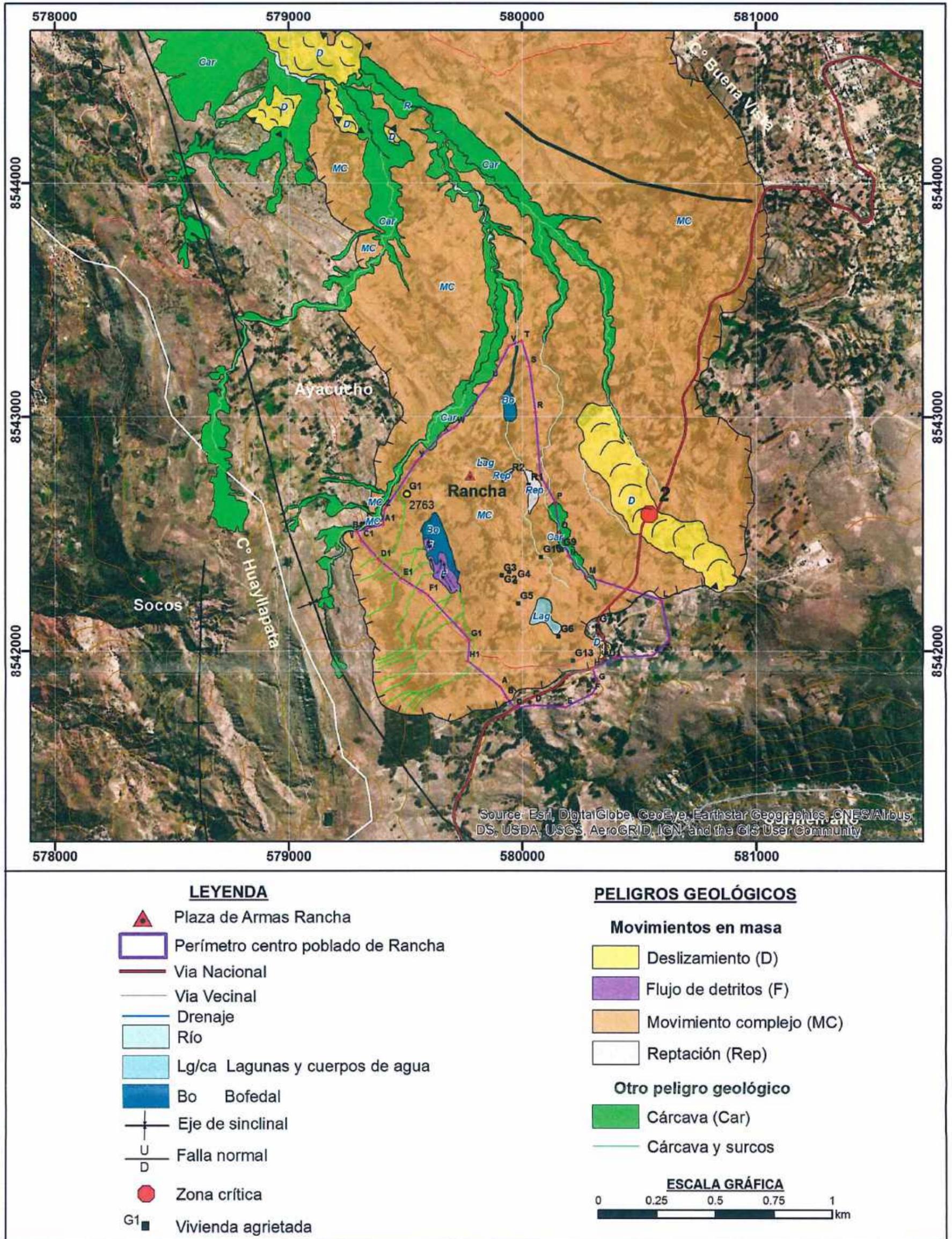


Figura 20: Mapa de peligro geológico por movimientos en masa y otros peligros geológicos en el centro poblado de Rancho y alrededores.

7. CONCLUSIONES

- a) En el centro poblado de Rancho y alrededores se identificaron peligros geológicos por movimientos en masa (movimiento complejo, deslizamiento, flujo de tierra y reptación), así como erosión de laderas.
- b) El centro poblado de Rancho se encuentra asentado en el cuerpo de un movimiento complejo antiguo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra), que resulta de la consecución de varios eventos ocurridos en la cima de los cerros Huayllapata y Buena Vista, que tiene una longitud de escarpa aproximada de 2,8 km y una longitud horizontal entre la escarpa y la punta de 5.6 km y estaría afectando tanto el suelo como parte del substrato rocoso. En el área que comprende el cuerpo del movimiento complejo se presenta una topografía característica ondulada, por la presencia de colinas o hummocks.
- c) En el cuerpo del movimiento complejo presenta agrietamientos en el suelo de tipo arcillo-limoso con grava; así también se puede evidenciar agrietamientos en paredes de viviendas de adobe, localizadas dentro del perímetro del centro poblado de Rancho. Se evidenció reactivaciones dentro los límites del movimiento complejo, tipificados como deslizamiento rotacional y reptación de suelos, que afectan viviendas y trocha carrozable de acceso a Rancho.
- d) Se identificó dos sectores afectados con procesos de erosión de laderas: el primero corresponde a surcos y cárcavas ubicado en la ladera este del cerro Huayllapampa, que cortan parte de la escarpa del movimiento complejo, arrancando material detrítico, forma flujos de detritos que son depositados formando pequeños conos en la cuenca endorreica del sector de Hatun Pampa. El segundo corresponde a la quebrada Puca Puca, que está en proceso de ensanchamiento y profundización.
- e) Los movimientos en masa (movimiento complejo, deslizamientos, flujos de detritos y reptación) y otros peligros geológicos (erosión de laderas) identificados en el centro poblado de Rancho y alrededores, fueron condicionados por la presencia de rocas sedimentarias medianamente consolidadas, considerados de mala calidad; las laderas de pendiente llana a muy fuerte (5° - 45°), presencia de suelos arcilloso y arcillo-limoso con grava poco compactos; escasa cobertura vegetal (pastos, matorrales y árboles aislado); la presencia de aguas subterránea en los poros que produce presiones intersticiales. El detonante de estos eventos son las precipitaciones pluviales y los sismos.
- f) Por las condiciones geodinámicas (presencia de movimientos en masa y procesos de erosión de laderas), geológicas (tipo de rocas y suelos de mala calidad geotécnica), la configuración geomorfológica, así como por la presencia de agrietamientos en paredes de adobe y el suelo, se considera a la zona de Rancho con alto peligro, donde se pueden producir nuevas reactivaciones de movimientos en masa.
- g) De lo anterior, el perímetro del centro poblado de Rancho se encuentra dentro de una zona de alta y muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.

8. RECOMENDACIONES

- a) Reforestar las laderas afectadas por surcos y cárcavas, así como evitar la tala de zonas reforestadas.
- b) Reparar la cuneta de concreto localizada en la carretera Los Libertadores km 231+500, que se presenta agrietada y desplazada.
- c) Controlar y evitar la formación de bofedales y lagunas en terrenos cóncavos que puedan saturar los suelos y desestabilizarlos, colocar drenajes.
- d) Desarrollar programas de control y manejo de cárcavas en base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (ver anexo).
- e) Realizar un monitoreo continuo y progresivo de las zonas donde presentan agrietamientos, que permitan tener un registro de su desarrollo, lo mismo que servirá para dar alertas ante movimientos rápidos que representarían la intensificación de los eventos; así también, identificar y registrar la aparición de nuevas grietas en el suelo o que afecten viviendas.
- f) Realizar el sellado de grietas abiertas en el terreno, por medio del uso de material fino (arcilla), para evitar la infiltración del agua a través de las mismas.
- g) Realizar trabajos de sensibilización con los pobladores de la zona en temas de peligros geológicos por movimientos en masa y gestión del riesgo de desastres, para que estén preparados y sepan cómo actuar ante la ocurrencia de este tipo de eventos que pueden afectar su seguridad física.



Ing. CÉSAR A. CHACALTANA BUDIEL
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET



Ing. MANUEL SALOMÓN VILCHEZ MATA
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET

9. REFERENCIAS

- Duque, G. & Escobar, C. (2016) – Erosión de suelos (en línea). En: Duque, G. & Escobar, C. Geomecánica. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, p 122-135 (consulta: 10 julio 2015). Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/53252/45/erosiondesuelos.pdf>
- Hungr, O.; Evans, S.G.; Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001) – A review of the classification of landslides of flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7(3): 221-238.
- Hungr, O. (2005) – Classification and terminology. En: Jakop, M. & Hungr, O., eds. *Debris-flow hazards and related phenomena*. Berlín: Springer-Praxis, p. 9-23.
- Hutchinson, J.N. (1988) – General report: Morphological and geotechnical parameters of landslide in relation to geology and hydrogeology. En: Bonnard, C., ed. *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, 10-15 July 1988. Lausanne, Switzerland*. Rotterdam: balkema, p. 3-35.
- Megard, F. (1967)- Deslizamiento de tierras en las vecindades del pueblo de Socos (distrito de Vinchos, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho). Informe técnico N° A1281. INGEMMET. Lima.
- 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.
- Rodríguez, R. & Chacaltana, C. (2003) - Memoria descriptiva de la revisión y actualización del cuadrángulo de Ayacucho. Lima: INGEMMET.
- Valderrama, L.; Montenegro, E. & Galindo, J. (1964) - Reconocimiento forestal del departamento de Cundinamarca. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 86 p.
- Varnes, D.J. (1978) - Slope movement types and processes. En: Schuster, R.L. & Krizek, R.J., eds., *Landslides: analysis and control*. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, p. 11-33, Special Report 176.
- Villota, H. (2005) – Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. 2. Ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 210 p.

10. ANEXOS

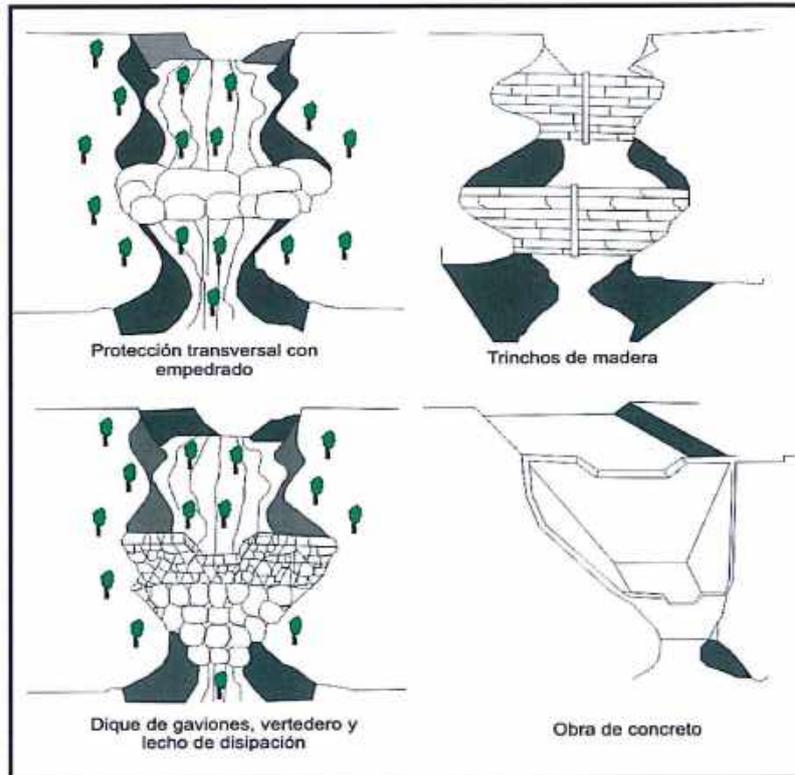


Figura 21: Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas. (Instituto Nacional de Vías-Ministerio de Transporte Republica de Colombia, 1998)

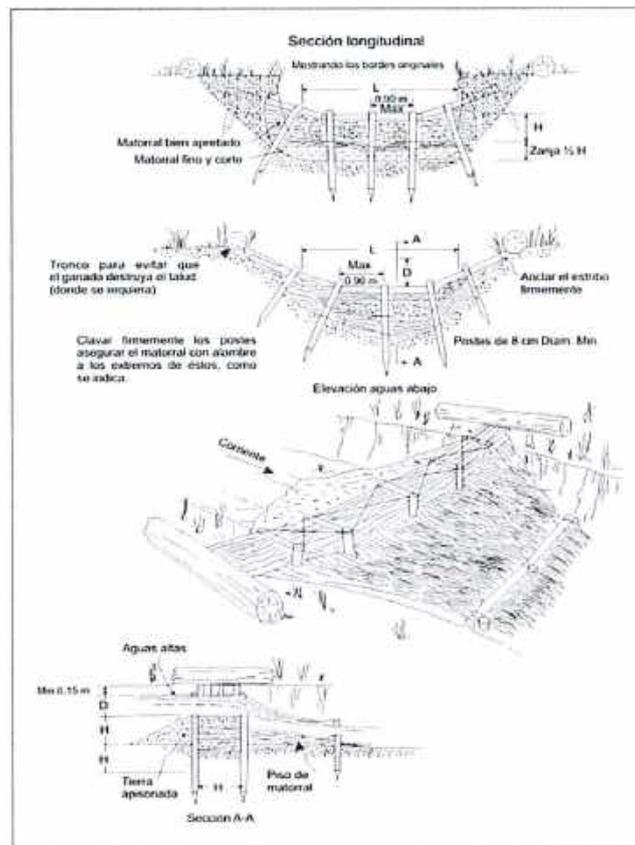


Figura 22: Trincho de madera tipo doble hilera (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).

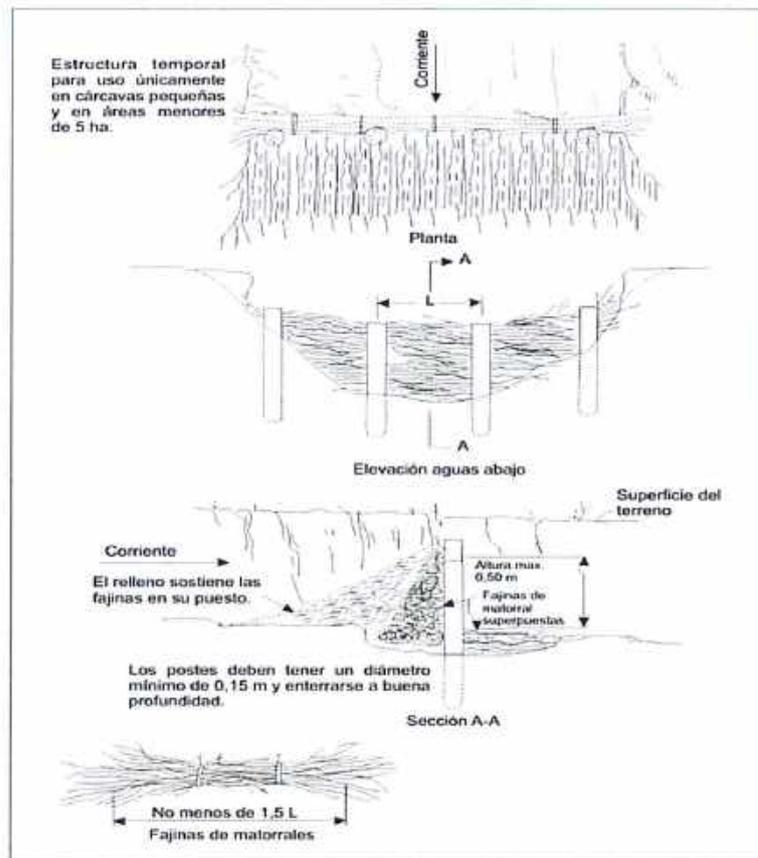


Figura 23: Trincho de matorral de tipo hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964).

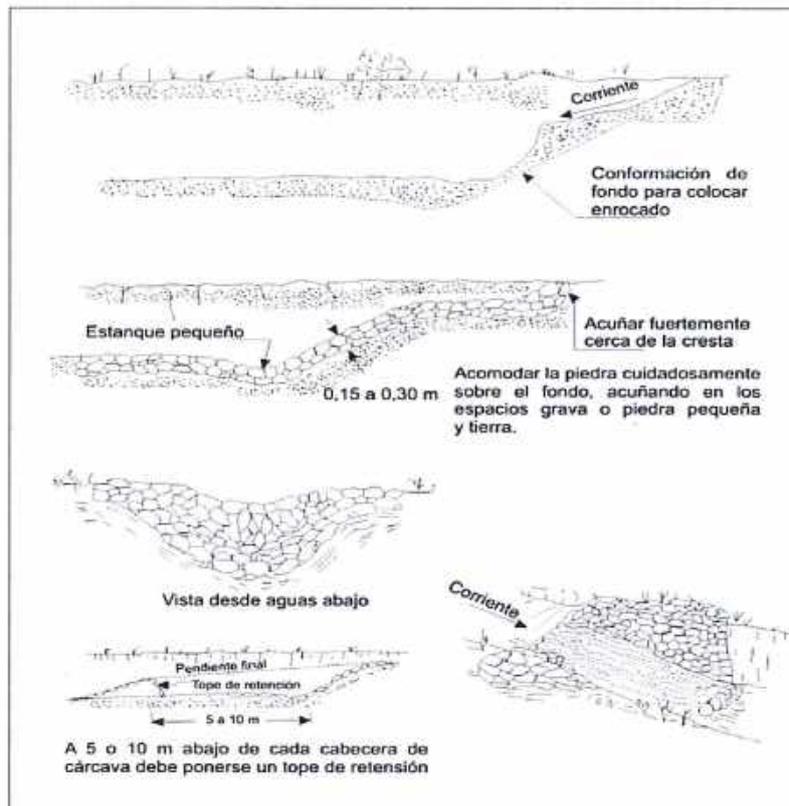


Figura 24: Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de erosión (adaptado de Valderrama et al., 1964)

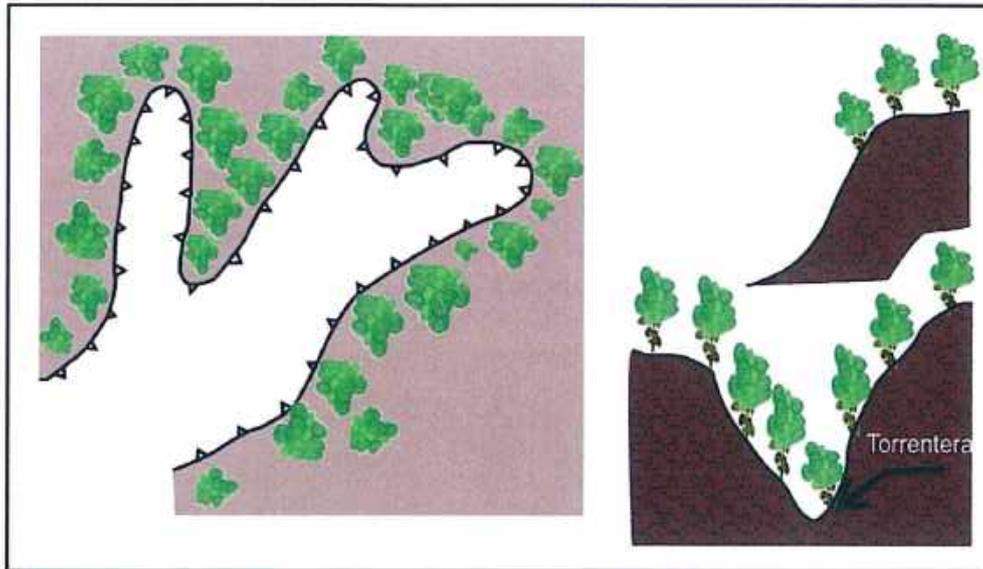


Figura 25: Vista de planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

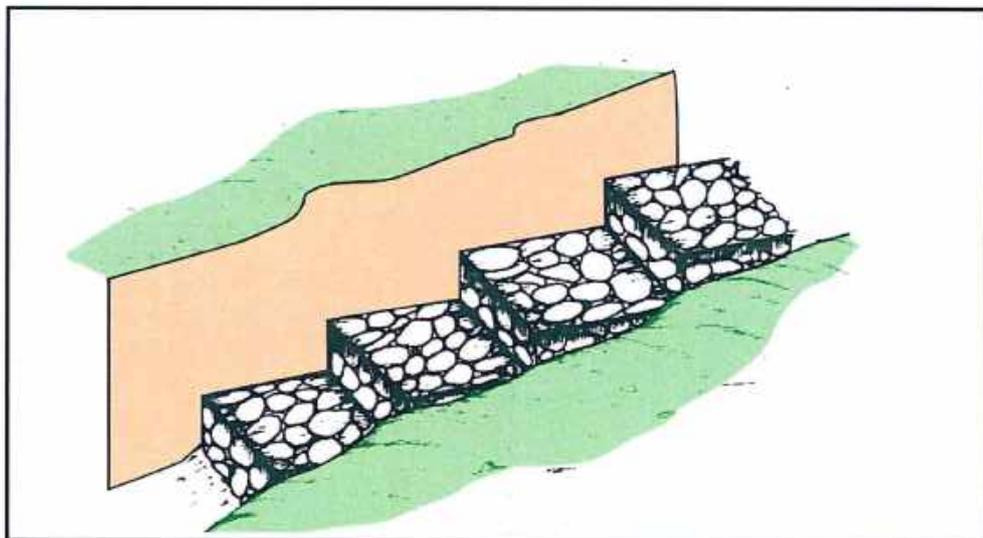


Figura 26: Protección del lecho de la cárcava o quebrada.