

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7026**

# EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE QUINOCAY

Región Lima  
Provincia Yauyos  
Distrito Quinocay



FEBRERO  
2020

## EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE QUINOCAY

(Distrito de Quinocay, Provincia de Yauyos, Departamento de Lima)

### CONTENIDO

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivos del estudio	3
1.2 Antecedentes y trabajos anteriores	3
2. ASPECTOS GENERALES	5
2.1 Ubicación y accesibilidad	5
2.2 Clima e hidrografía	6
3. GEOLOGÍA	8
3.1 Unidades estratigráficas	8
4. GEOMORFOLOGÍA	12
4.1 Pendiente del terreno	12
4.2 Unidades geomorfológicas	14
4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	14
4.2.2 Geoformas de carácter depositacional y agradacional	15
5. PELIGROS GEOLÓGICOS - CONCEPTOS GENERALES	18
5.1 Peligros geológicos por movimientos en masa	18
5.1.1 Deslizamiento	18
5.1.2 Movimiento complejo	19
5.2 Otros peligros geológicos	19
5.2.1 Erosión de laderas	19
6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LOCALIDAD DE QUINOCAY	20
6.1 Deslizamientos en la localidad de Quinocay	20
6.2 Agrietamientos en la localidad de Quinocay	29
6.3 Movimiento complejo del cerro Corral Quinchino	34
6.4 Erosión de laderas en la localidad de Quinocay y alrededores	38
7. CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO	39
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	41
REFERENCIAS	43

## EVALUACIÓN DE PELIGRO GEOLÓGICO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE QUINOCAY

(Distrito de Quinocay, Provincia de Yauyos, Departamento de Lima)

### RESUMEN

El presente informe técnico es resultado de la inspección de peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros geológicos realizados en la localidad de Quinocay, que pertenece a la jurisdicción de la municipalidad distrital de Quinocay, provincia de Yauyos, departamento de Lima. 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 (Formación Carhuaz), volcánico-sedimentarias (Formación Tantará) y cuerpos intrusivos de granodiorita. Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en materiales conformados por arcillitas pizarrosas, limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz, considerados como rocas de mala calidad geotécnica.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (montañas en roca sedimentaria, montañas en roca volcánico-sedimentaria y montañas en roca intrusiva) y geoformas de carácter depositacional y agradacional, donde se tienen las unidades de piedemontes (de origen deluvial, coluvio-deluvial y vertiente con depósito de deslizamientos), planicies (terracea aluvial) y geoformas particulares (cauce de río).

Lo procesos identificados en la localidad de Quinocay corresponde a los denominados movimientos en masa, entre los que se tienen deslizamientos rotacionales activados durante el periodo lluvioso extraordinario (enero-marzo) del año 2017; movimiento complejo antiguo con reactivaciones en el cuerpo; también se identificó zonas con procesos de erosión de laderas (surcos y cárcavas) en proceso de ensanchamiento y profundización de sus canales. Estos procesos han afectado terrenos de cultivo, trocha carrozable y ha causado agrietamientos en las laderas superiores al poblado de Quinocay.

Finalmente, en el presente informe se brindan recomendaciones que se consideran importantes, para que las autoridades las pongan en práctica y no se produzcan 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 la localidad de Quinocay y alrededores. Estas recomendaciones se plantean con la finalidad de minimizar las ocurrencias y los daños que pueden ocasionar los procesos identificados.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), mediante Oficio N° 270-2017-/CENEPRED/DIFAT-1.0, solicitó al Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), la elaboración de un estudio técnico que identifique y caracterice los peligros existentes en el centro del poblado de Quinocay, del distrito de Quinocay, de la provincia de Yauyos, departamento de Lima.

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 realicen la evaluación técnica respectiva. Se iniciaron los trabajos realizando las coordinaciones previas con el Sr. Jimmy Manta Ignacio, alcalde de la Municipalidad distrital de Quinocay; los trabajos de campo se realizaron el día 03 de diciembre de 2019 y se contó con la presencia del Sr. Rogelio Ramirez Vallarta, secretario de la Municipalidad de Distrital de Quinocay y el Sr. Edson Valeriano Ramirez, Juez de Paz del distrito de Quinocay.

La evaluación técnica 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), y el cartografiado geológico-geodinámico, con lo que finalmente se procedió a la redacción del informe técnico.

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

### 1.1 Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa y otros peligros que se presentan en la localidad de Quinocay; 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 a escala regional hechas por INGEMMET que incluyen el distrito de Quinocay, relacionados a temas de geología y peligros geológicos, de los cuales destacan los siguientes:

- En el Boletín, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: **“Peligro geológico en la región Lima”** (inédito), se identifican los peligros geológicos y geohidrológicos que pueden causar desastres dentro del ámbito de estudio. Se identificó un total de 4342 ocurrencias de peligros y se determinaron 45 zonas críticas. El estudio también realiza un análisis de susceptibilidad por movimientos en masa (escala 1: 100 000) en donde localidad de Quinocay se ubica en una zona con rango de susceptibilidad 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.

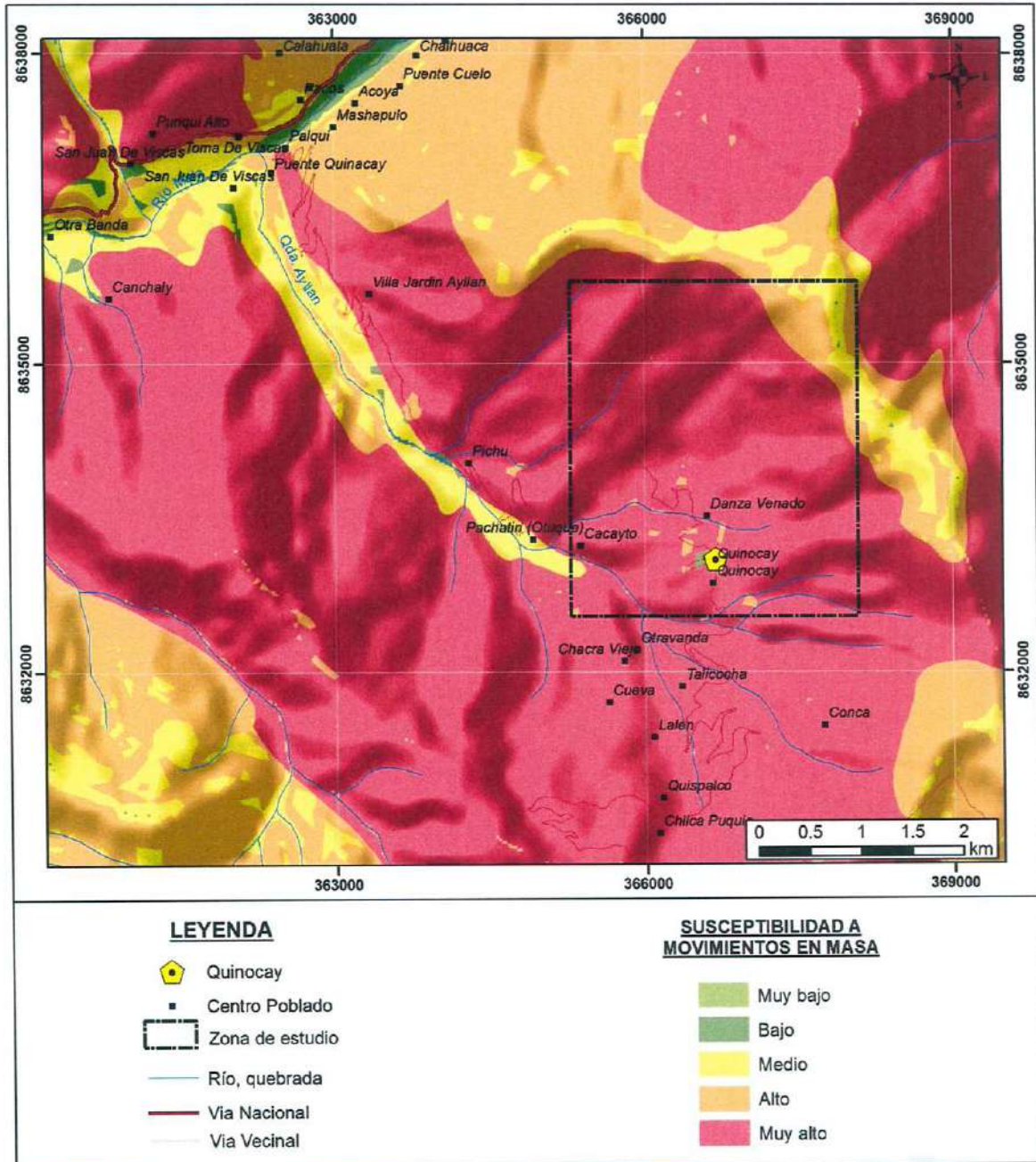


Figura 1: Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa (tomado del estudio de Peligro geológico en la región Lima”, Luque, G y Rosado, M, inédito).

- El boletín N° 28, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Estudio de riesgos geológicos del Perú – Franja 3” (2003), hace un diagnóstico de los peligros geológicos, los elementos expuestos y estima un nivel de riesgo cualitativo entre los 12° y 14° de latitud sur, abarcando territorios de las regiones Lima, Pasco, Junín, Ucayali, Cusco y Madre de Dios. Se identificó 41 zonas críticas y en el mapa de peligros geológicos múltiples, el poblado de Quinocay se encuentra de una zona de peligro Muy Alto, correspondiente a terrenos de fuerte

a muy fuerte pendiente, donde conjugan principalmente peligros tipo huaicos, caídas, derrumbes, deslizamientos y movimientos complejos.

- El boletín N° 63, serie A, Carta geológica Nacional: “**Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochiri**” (1983), describe las secuencias estratigráficas que afloran en la zona de estudio, donde se tienen unidades rocosas sedimentarias, volcánicas y volcánico sedimentarias, con edades que van desde el Paleozoico en el sector oriental y desde el Mesozoico en el sector occidental, hasta el reciente. Se tiene en la zona la presencia de intrusivos plutónicos correspondientes al Batolito de la Costa de edad Cretáceo y Paleógeno, que varía de gabros hasta granitos. El estudio también presenta una descripción de la geomorfología de la zona de estudio.

## 2. ASPECTOS GENERALES

### 2.1 Ubicación y accesibilidad

La zona de estudio corresponde a la localidad de Quinocay, capital del distrito del Quinocay, que pertenece a la provincia de Yauyos, región Lima (figura 2); se encuentra localizada en las coordenadas centrales UTM-WGS 84 siguientes:

Localidad de Quinocay		
Norte	Este	Altitud
8633057	366648	2658 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 hasta la localidad de Mala, tomando ahí el desvío ha Calango, para continuar Hasta Viscas y Quinocay, en un tiempo aproximado de 4 horas, a través de 184 km de recorrido aproximadamente (cuadro 1).

**Cuadro 1: Rutas de acceso a la zona evaluada**

Desde	Vía	Kilómetros	Tiempo estimado
Lima a Mala (desvío Calango)	1S – asfaltada (Panamericana Sur)	97.1 km	1 h 53 min
Desvío – Calango – Viscas – Desvío Quinocay	722/PE 1SA – Afirmada	70.9 km	1 h 29 min
Desvío - Quinocay	Carretera afirmada	16 km	38 min

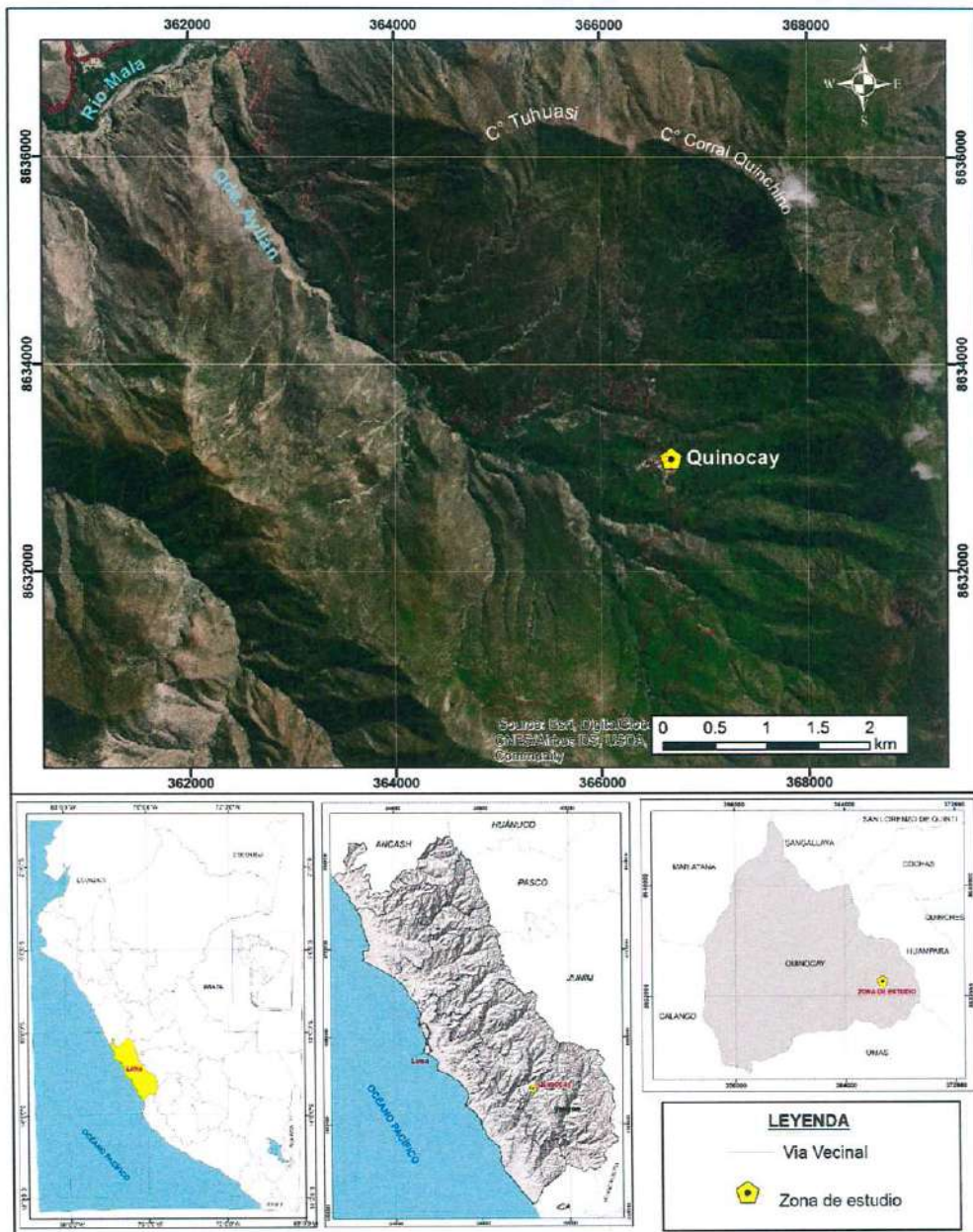


Figura 2: Ubicación de la zona inspeccionada.

## 2.2 Clima e hidrografía

De acuerdo con los datos climáticos (clasificación climática por el método de Thornthwaite), en el ámbito de la localidad de Quinocay se tiene los siguientes tipos climáticos (SENAMHI):

- En el valle del río Mala donde se asienta la localidad de Viscas y la cuenca baja de la quebrada Ayllán se tiene un clima árido, semicálido, con deficiencia de lluvias en todas las estaciones, con humedad relativa calificada como húmedo [E(d) B'1 H3].
- En la cuenca media y alta de la quebrada Ayllán, donde se ubica la localidad de Quinocay, se tiene un clima semiseco, seco en las estaciones de otoño, invierno y primavera, templado y humedad relativa calificada como húmedo [C(o,i,p) B'2 H3].
- En la cuenca alta de la quebrada Ayllán, se tiene un clima semiseco, seco en las estaciones de otoño, invierno y primavera; semifrío, con humedad relativa calificada como húmedo [C(o,i,p) B'3 H3].

En cuanto a la cantidad de lluvia caída en la zona, según el mapa precipitación acumulada durante el periodo lluvioso normal (setiembre-mayo) elaborado por SENAMHI, se puede ver que en la localidad de Quinocay se tiene un acumulado promedio de entre 100 y 200 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 acumulada de hasta 600 mm.

Para determinar las condiciones hidrometeorológicas en la zona de estudio, se tomaron datos referenciales de precipitación pluvial de dos estaciones registradas en la página web del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la primera es la estación “**Huañec**” ubicada a 11 km al noreste de Quinocay; la segunda es la estación “**San Pedro de Pilas**”, ubicada a 10,3 km al sur de Quinocay. En ambas estaciones se puede ver que las precipitaciones registradas el año 2017 (año en que se presentaron los agrietamientos en la localidad de Quinocay) correspondiente al periodo enero-abril fue de 639 mm en la estación Huañec y 634 mm San Pedro de Pilas (cuadro 2 y 3), valores que se acercan a los registrados durante el evento El Niño 1997-1997, por lo que se consideran lluvias extraordinarias relacionadas al fenómeno El Niño Costero. En el mismo periodo enero-abril para el año 2018 los valores de precipitación acumulada son de 427 mm y 160 mm; el 2019 fue de 350 mm y 294 mm.

**Cuadro 2: Datos de precipitación pluvial tomados de la estación meteorológica Huañec.**

Año 2017												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	114.7	180.8	305.3	38.3	0	0	0	0	0	0	0	0
Año 2018												
Precipitación (mm)	131.6	111.6	144.5	39.5	0	0	0	0	0	0	0	0
Año 2019												
Precipitación (mm)	118.6	103.7	128.6	0	0	0	0	0	0	0	6.5	84
Año 2020												
Precipitación (mm)	85.1											

**Cuadro 3: Datos de precipitación pluvial tomados de la estación meteorológica S. P. Pilas.**

Año 2017												
Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (mm)	199.7	156.4	269.6	8.6	0	0	0	0	0	0	0.7	2.9
Año 2018												
Precipitación (mm)	42.9	42.5	53.2	21.7	0	3	0	0	0	0.5	0.7	4.7
Año 2019												
Precipitación (mm)	68.2	144.7	81.1	0.6	0	0	0	0	1.4	0	0.2	18.6
Año 2020												
Precipitación (mm)	141.9											

La red hidrográfica forma parte de las cuencas de la vertiente Pacífico, siendo el curso principal el río Mala, que es alimentada por muchas quebradas tributarias; siendo una de estas la quebrada Ayllán, que confluye por la margen izquierda del río Mala; en la cuenca media-alta de esta microcuenca se encuentra asentada en la localidad de Quinocay.



### 3. GEOLOGÍA

En el contexto regional las unidades geológicas que afloran en la zona de estudio son de origen sedimentario y volcánico-sedimentario; en la base se tiene a la Formación Carhuaz del Cretáceo, le siguen rocas volcánico-sedimentarias de la Formación Tantarà, del Paleógeno. Se presenta también en la zona cuerpos intrusivos del Batolitos de la Costa, de edad Cretáceo; finalmente se tiene una cobertura superficial cuaternaria conformada por depósitos coluviales, proluviales, deluviales, coluvio-deluvial aluvial y fluvial.

A continuación, se presenta de manera resumida una descripción de las principales formaciones geológicas y depósitos que afloran en la localidad de Quinocay y alrededores.

#### 3.1 Unidades estratigráficas

##### A) MESOZOICA

***Formación Carhuaz (Ki-ca)***: En el área de Quinocay consiste de una gruesa secuencia de arcillitas pizarrosas friables y laminadas, con intercalaciones de areniscas grises y pardas; ocasionalmente con unidades delgadas de caliza y margas color gris negruzco; también contienen esporádicamente, limolitas, areniscas rojizas y capas irregulares de volcánicos (fotografía 1); se considera a la secuencia sedimentaria con una calidad geotécnica regular a mala; la roca alterada forma un suelo arcillo-limoso con grava color marrón-anaranjado y gris oscuro, este último resultante de la alteración de las arcillitas negras (fotografía 2); estas rocas se encuentran afectadas por procesos erosivos y movimientos en masa. Se le asigna a la formación una edad Cretáceo inferior (Valanginiano superior-Aptiano).



Fotografía 1: Vista con dirección al sur donde se puede ver los estratos de arcillita de la Formación Carhuaz, los cuales buzan en bajo ángulo a favor de la pendiente de la ladera.



Fotografía 2: Vista del suelo arcillo-limoso con grava resultado de la alteración de arcillitas negras de la Formación Carhuaz.

***Intrusivo Granodiorita (Ks-bc/i-gd)***: Se trata de cuerpos de textura masiva y granular de granodiorita de color gris clara; con más del 10% de cuarzo, plagioclasas en mayor proporción que la ortosa, con algo de ferromagnesianos e indicios de minerales secundarios. La roca se presenta medianamente fracturada y moderadamente a altamente meteorizada conformando un suelo areno-limoso. El principal afloramiento se encuentra en la cabecera de la quebrada Ayllán; se debe mencionar que en inmediaciones de la localidad de Quinocay, se presentan afloramientos pequeños de granodiorita los cuales no han sido cartografiados en el mapa geológico debido a la escala de trabajo (fotografía 3). La edad de estas rocas es Cretáceo superior.



Fotografía 3: Afloramiento de granodiorita fracturada, con patina de alteración color anaranjada en la cara de las fracturas expuestas, localizado ladera arriba de la localidad de Quinocay.

## B) CENOZOICA

**Formación Tantarú (P-t)**: Se trata de una secuencia de rocas volcánicas consistentes en derrames andesíticos basálticos de color gris oscuros, flujos de brecha volcánica y lava de color violácea, intercalados con conglomerados, clastos volcánicos y areniscas gruesas; se estima un grosor de 500 m; sobreyace de forma discordantemente sobre la secuencia sedimentaria de la Formación Carhuaz; se le encuentra en la cima de las montañas que conforman las vertientes de la margen derecha de la quebrada Ayllán (figura 3). Se le asigna a esta formación una edad Paleógeno (Eoceno superior).

**Depósito coluvial (Qpl-cl)**: Conformados por acumulaciones ubicadas al pie de taludes escarpados de bloques rocosos angulosos heterométricos y de naturaleza litológica homogénea, en forma de conos o canchales. Los bloques más gruesos se depositan en la base y los tamaños menores disminuyen gradualmente hacia el ápice. Carecen de relleno, son sueltos sin cohesión. Conforman taludes de reposo poco estables; dentro de este tipo de depósito se encuentran los materiales generados por movimientos en masa de tipo deslizamientos, derrumbes, etc. Los depósitos son de tipo arcillo limo-gravoso con bloques, de plasticidad media a alta (figura 3). Estos depósitos tienen una edad Cuaternario-Pleistoceno.

**Depósito proluvial (Qh-pl)**: Conformado por fragmentos rocosos heterométricos (cantos, bolos, bloques, etc), con matriz limo arenoso-arcilloso depositado en el fondo de valles y conos deyeativos en la confluencia con el río; se forman con corrientes aluvio torrenciales (figura 3). Este tipo de material se encuentra en la confluencia de la quebrada Ayllán en el río Mala, con una potencia aproximada de 20 m. se le asigna al depósito una edad Cuaternario-Holoceno.

**Depósito deluvial (Qh-dl)**: Compuestos por capas de suelos fino y arcillas con inclusiones de fragmentos rocosos pequeños a medianos, que se depositan y cubren las laderas de los cerros, formando taludes suaves a moderados; son depósitos de ladera removidos por agua de lluvia (figura 3); se le asigna una edad Cuaternario-Holoceno.

**Depósito coluvio-deluvial (Qh-dl)**: Corresponde a una acumulación sucesiva y alternada en laderas de cerros y montañas, de materiales de origen coluvial y deluvial, los cuales no es posible diferenciarlos (figura 3).

**Depósitos aluviales (Qh-al)**: Están compuestos por una mezcla de fragmentos heterométricos y heterogéneos (bolos, gravas, arenas, etc.), redondeados a subredondeados, transportados por la corriente de los ríos y quebradas. Tienen regular a buena selección y se presentan estratos diferenciados que evidencian la actividad dinámica fluvial. Conforman llanuras antiguas y/o niveles de terrazas adyacentes a los valles; se les encuentra formando terrazas de dimensiones reducidas en ambos márgenes de la quebrada Ayllán (figura 3); son de edad Cuaternario-Holocena.

**Depósitos fluviales (Qh-fl)**: Lo constituyen los materiales de los lechos de los ríos o quebradas, terrazas bajas y llanura de inundación. Son depósitos heterométricos constituidos por bolos, cantos y gravas subredondeadas en matriz arenosa o limosa, mezcla de lentes arenosos y arenolimosos. Son transportados por la corriente de los ríos a grandes distancias en el fondo de los valles y depositados en forma de terrazas o playas, removibles por el curso actual del río y ubicados en su llanura de inundación. Son depósitos inconsolidados a poco consolidados hasta sueltos, fácilmente removibles, cuya permeabilidad es alta. En la zona de estudio se encuentra este tipo de depósito en el lecho de la quebrada Ayllán (figura 3); son de edad Cuaternario-Holocena.

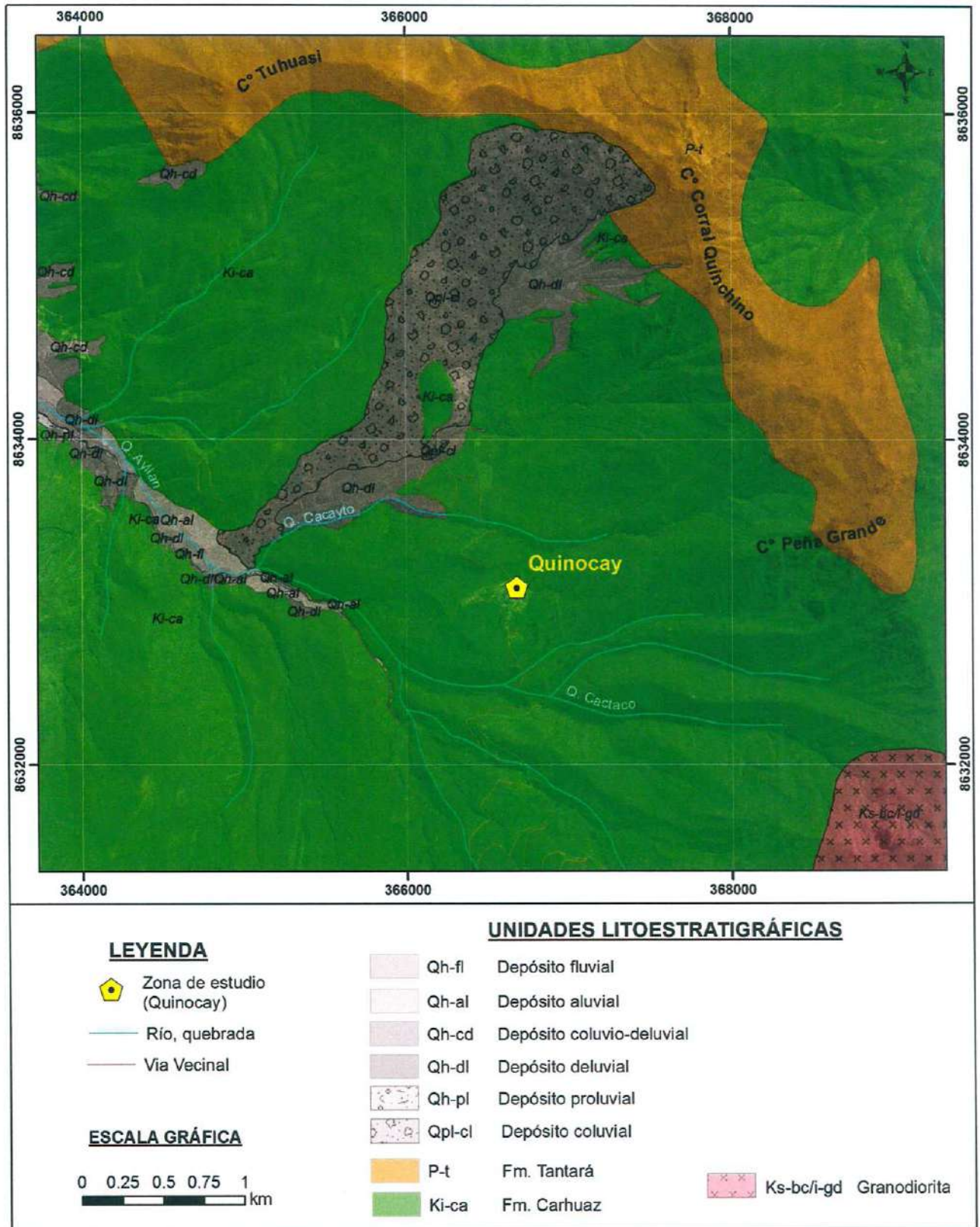


Figura 3: Mapa geológicos de la zona evaluada.

## 4. GEOMORFOLOGÍA

### 4.1 Pendiente del terreno

La microcuenca de la quebrada Ayllán, en cuyas laderas media se encuentra asentada la localidad de Quinocay, presenta rangos de pendientes que van desde terrenos de inclinación suave ( $1^\circ - 5^\circ$ ), que por ejemplo corresponde a un rellano en la ladera donde se encuentra asentada la población (figura 4 y fotografía 4); pendiente moderada ( $5^\circ - 15^\circ$ ), que se distribuye en las laderas superiores y a los alrededores de Quinocay (figura 5); pendiente fuerte ( $15^\circ - 25^\circ$ ) (figura 5), distribuidas en la cuenca media de la quebrada; muy fuerte ( $25^\circ - 45^\circ$ ), se distribuye principalmente en la cuenca alta y valle estrecho de la cuenca baja de la quebrada Ayllán (DGAR-F-148, formato: Ficha de inventario de peligros geológicos y geohidrológicos del Perú, 2010).

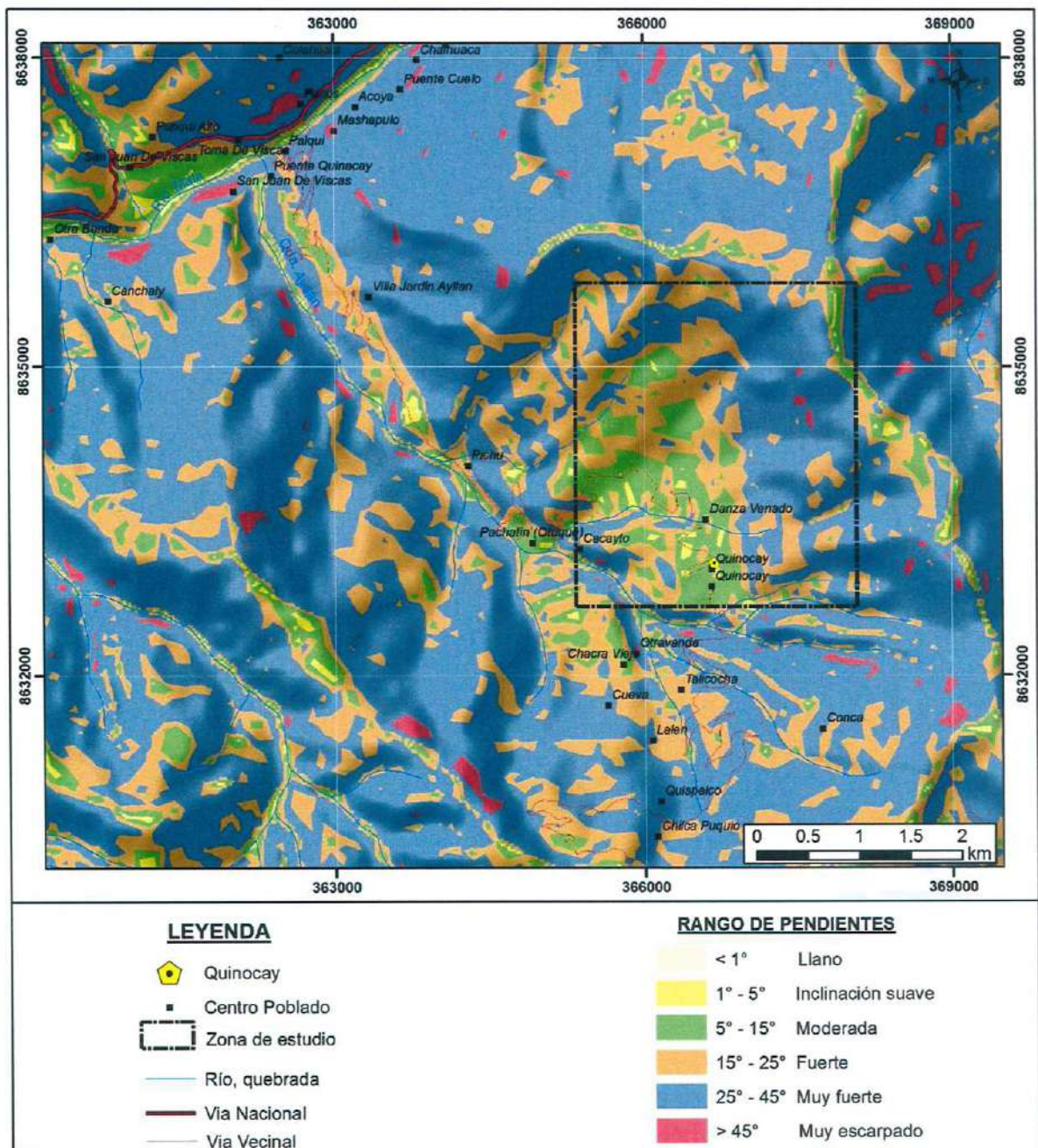


Figura 4: Mapa de pendientes de la zona evaluada y alrededores.



Fotografía 4: Vista con dirección al suroeste donde se puede observar el rellano de pendiente menor a  $5^\circ$  en la ladera, sobre el cual se asentó la localidad de Quinocay.



Figura 5: Vista con dirección al sur donde se puede observar las laderas superiores al poblado de Quinocay, donde las laderas alcanzan los  $25^\circ$  de inclinación.

## 4.2 Unidades geomorfológicas

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

### 4.2.1 Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

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

- A) **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.

En la zona evaluada corresponde a montañas modeladas en afloramientos de rocas sedimentarias del Formación Carhuaz (figuras 6 y 7); las rocas son de tipo arcillitas negras, con intercalaciones de limolitas y areniscas; estas montañas configuran un terreno de forma escalonada. Geodinámicamente asociadas a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos, flujos de detritos, movimientos complejos y procesos de erosión de laderas.



Figura 6: Vista con dirección al suroeste de montañas modeladas en rocas sedimentarias correspondientes a la Formación Carhuaz, que conforman las vertientes de la margen izquierda de la quebrada Ayllán.

**Subunidad de montañas en roca volcánico-sedimentaria (RM-rvs)**: Dentro de esta subunidad se consideran afloramientos de asociaciones de rocas volcánico-sedimentarias, de tipo andesitas con intercalaciones de conglomerados y areniscas de la Formación Tantará (figura 7). Estas secuencias también presentan huellas de los efectos de procesos fluvio-erosionales, glaciares y glacio-fluviales; se observa una intensa erosión glaciar; presentan pendientes de fuerte a muy escarpada. Se asocia a la ocurrencia de derrumbes y de caída de rocas.

**Subunidad de montañas en rocas intrusivas (RM-ri)**: Las masas de rocas ígneas solidificadas en profundidad a partir de intrusiones de magma se disponen como diques, sill, lacolitos, stocks y batolitos; estos son expuestos por la remoción de las rocas suprayacentes y son afectados por procesos denudativos como los fluvio-erosionales, que esculpen los paisajes montañosos. La red drenaje está densamente ramificada de disposición dendrítica típica a dendrítica paralela en rocas ígneas félsicas (granito, cuarzo diorita, granodiorita y tonalita); y un patrón de drenaje paralelo a subparalelo de densidad media en rocas intermedias (monzonitas y dioritas).

Esta subunidad esta conformada por montañas con laderas y crestas de topografía abrupta; específicamente en la zona de estudio, se presentan stocks de cuerpos intrusivos que cortan rocas sedimentarias del Cretáceo, con formas subredondeadas, localizadas en la cima del cerro Peña Prieta en la cuenca alta de la quebrada Ayllán (figura 7).

Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión de laderas, caída de rocas, derrumbes, flujo de detritos y deslizamientos.

#### **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 tienen las siguientes subunidades:

**Subunidad de vertiente o piedemonte deluvial (V-de)**: Sub-unidad conformada por la asociación de conos y abanicos de origen deluvial que se depositan de forma sucesiva a media ladera, al pie de laderas o acantilados; en la zona evaluada estos depósitos han sido identificados principalmente en las vertientes de la margen derecha de la quebrada Ayllán (figura 7). Se asocian a la ocurrencia de flujos de detritos, deslizamientos y procesos de erosión de laderas.

**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. Esta unidad fue identificada en la ladera suroeste del cerro Corral Quinchino, a aproximadamente 960 m al norte de la localidad de Quinocay (figura 7).

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

**Subunidad de Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)**: Subunidad formada por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial (acarreados y acumulados por efecto de la gravedad) y deluvial (acumulación de material al pie de laderas, depositados por escorrentía de agua que lavan materiales sueltos de las laderas) (figura 7). Se encuentran interestratificados y no es posible separarlos como unidades individuales, estos se acumulan en la ladera media y al pie de montañas o acantilados de valles. Se pueden asociar geodinámicamente a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo movimientos complejos, deslizamientos, reptación de suelos y flujos de detritos.

## **B) PLANICIES**

Son superficies que no presentan un claro direccionamiento, ya sea que provienen de la denudación de antiguas llanuras agradacionales o del aplanamiento diferencial de anteriores cordilleras. Están determinadas por una acción prolongada de los procesos denudacionales y por la acumulación de material volcánico piroclástico que cubre superficies preexistentes. Se identificaron las siguientes subunidades:

**Terraza aluvial (T-al)**: Es el depósito de materiales no consolidados acumulados por acción de los cursos hídricos. Generalmente presenta pendientes suaves y se ubican de forma adyacente al lecho de los cauces de quebradas, como se presentan en la quebrada Ayllán (figura 7). Los materiales que lo conforman son de diferente composición, tamaños y de geometría redondeada.

Esta es una unidad importante por constituir una evidencia de los pasados eventos de avenidas e inundaciones en la zona; actualmente son usada como terrenos de cultivo. Geodinámicamente se asocian a procesos de erosión fluvial e inundaciones fluviales.

## **C) GEOFORMAS PARTICULARES**

Son geoformas de características singulares que resultan de la actividad fluvial, marina, lacustre y antrópica, en la zona evaluada se presenta la siguiente subunidad:

**Subunidad de Cauce de río (Río)**: Se refiere a los canales o cursos de agua que por lo general presentan caudales valorables durante todo el año; se han considerado además terrazas y llanuras de inundación que no fueron diferenciadas en el mapa geomorfológico, por la escala de elaboración del mismo; esta subunidad fue cartografiada en el cauce de la quebrada Ayllán (figura 7).

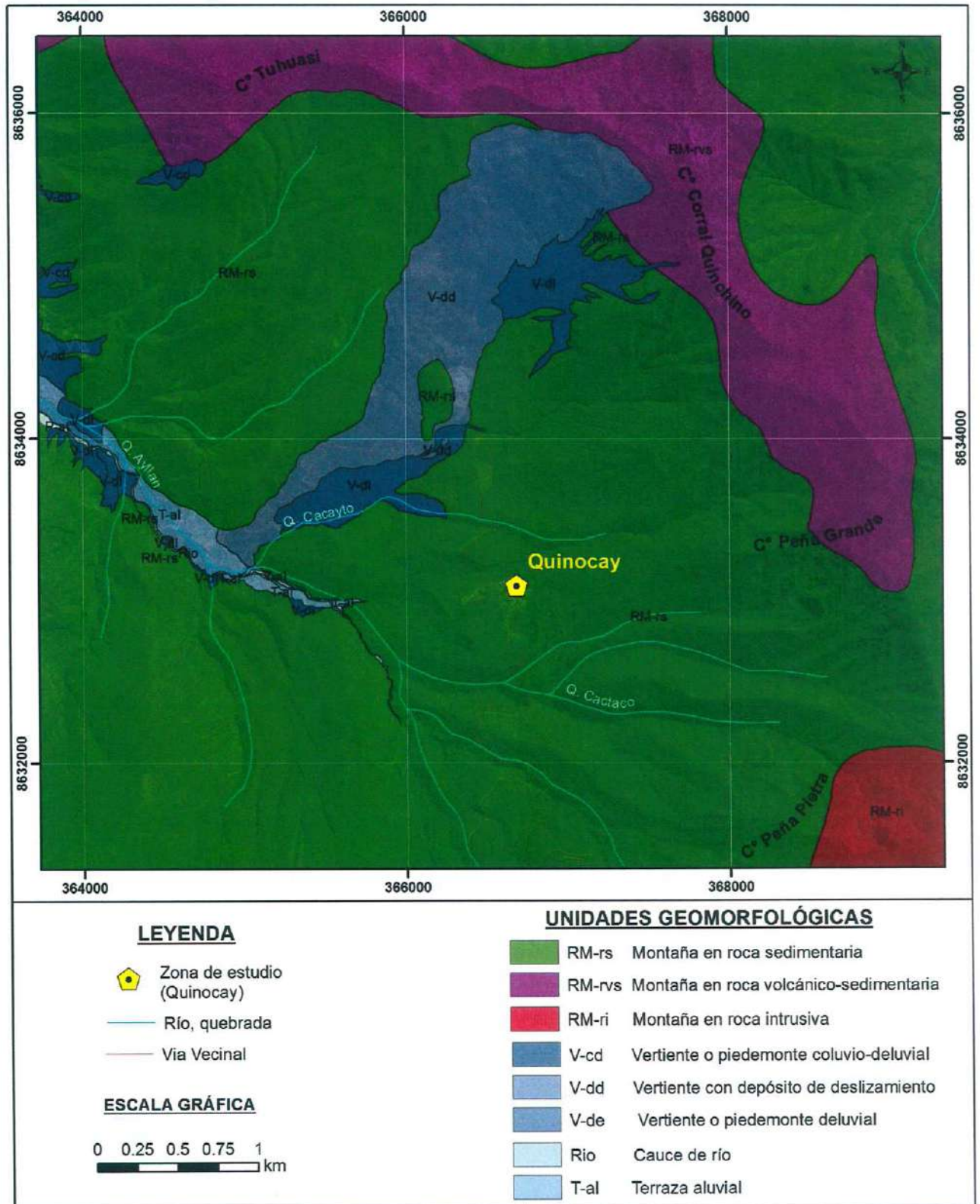


Figura 7: Mapa geomorfológico de la localidad de Quinocay.

## 5. PELIGROS GEOLÓGICOS – CONCEPTOS GENERALES

Los peligros geológicos identificados en la zona evaluada corresponden a subtipos agrupados en 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 derrumbe, deslizamiento y reptación de suelos (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, 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 la localidad de Quinocay se identificó por medio de los trabajos de campo la presencia de varios deslizamientos rotacionales.

##### 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 8). 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.

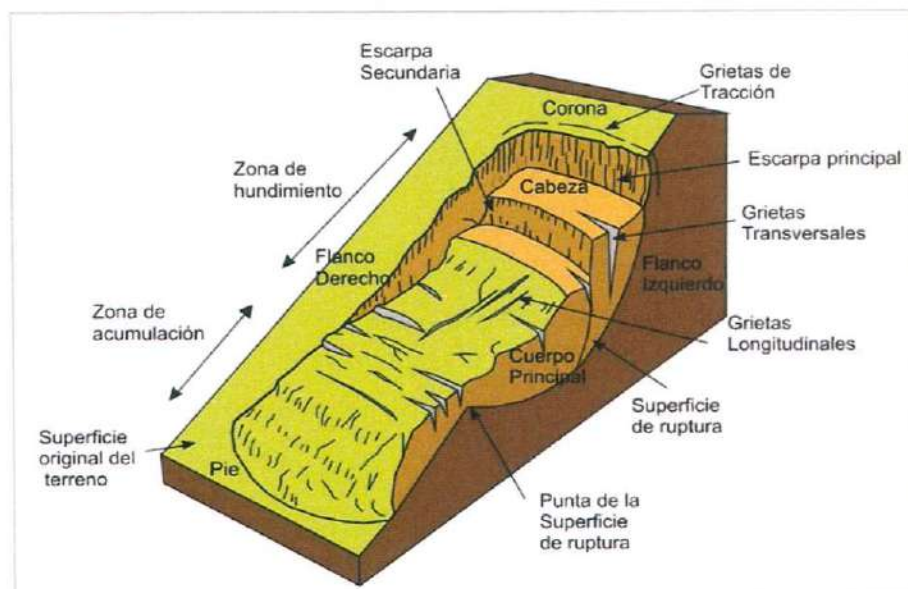


Figura 8: Esquema de un deslizamiento rotacional donde se muestran sus diferentes partes.

### 5.1.2 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 como evento principal arrancado en la ladera suroeste del cerro Corral Quinchino, cuyo cuerpo se desplaza lentamente como un flujo de tierra.

## 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.

### 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 9). 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).

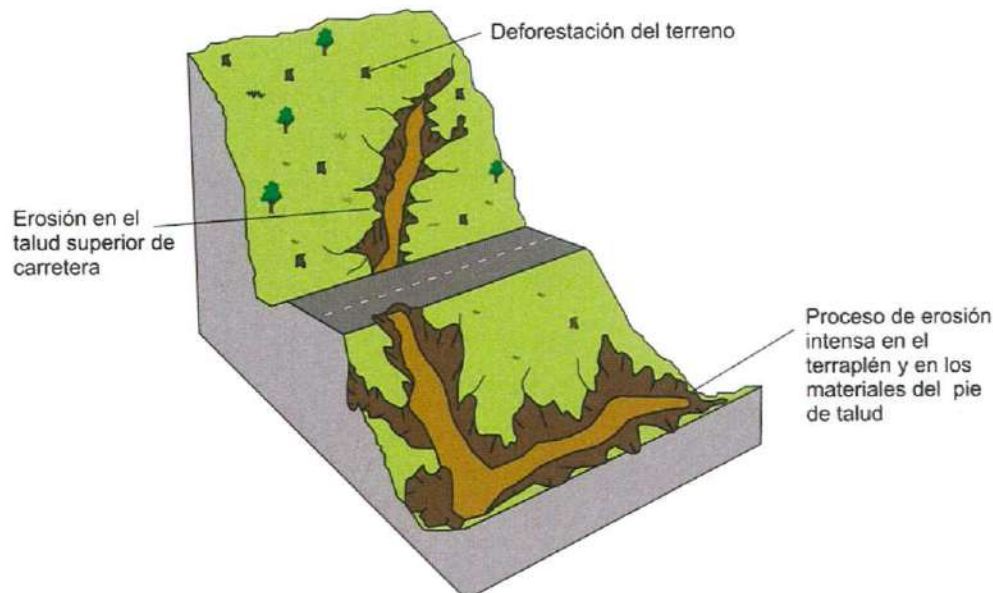


Figura 9: Esquema de erosión de laderas en cárcavas.

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.

- Esguerrimiento 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).

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA Y OTROS PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA LOCALIDAD DE QUINOCAY

### 6.1 Deslizamientos en la localidad de Quinocay

En inmediaciones de la localidad de Quinocay, como consecuencia de las fuertes precipitaciones registradas durante el periodo lluvioso enero-marzo del año 2017, se produjeron varios deslizamientos rotacionales (denominados como D1, D2, D3 y D4) y zonas de agrietamiento tensional (denominados G1, G2 y G3), que producen el asentamiento del terreno, estos últimos corresponderían a un estadio inicial de formación de nuevos deslizamientos (figura 20).

Los sectores afectados por deslizamientos activos son los siguientes:

#### 6.1.1 Deslizamiento rotacional D1:

Ubicado al este de la localidad de Quinocay, a una distancia horizontal de 436 m y 150 m de altura, en coordenadas UTM WGS-84: 8633229 N, 367143 O y 2852 m s.n.m; se presenta como deslizamiento superficial que compromete suelo arcillo-limoso con grava, que resulta de la alteración de las arcillitas de la Formación Carhuaz; el evento presenta una escarpa de forma semicircular de 18 m de ancho, un salto principal de 1 m y ocupa una superficie estimada de 653 m<sup>2</sup>; se identificó la presencia de grietas tensionales con aberturas de 1 cm por detrás de la corona del deslizamiento (figura 10).

El material comprometido se movilizó y quedó colgado en la ladera, produciendo solo el asentamiento del terreno sin causar daño alguno.



Figura 10: Vista con dirección al sureste donde se puede observar la escarpa semicircular y parte del cuerpo del deslizamiento D1, hacia el lado derecho de la imagen se puede ver la localidad de Quinocay.

### 6.1.2 Deslizamiento rotacional D2

Este evento también se encuentra localizado por encima de la localidad de Quinocay, a una distancia horizontal de 448 m y 160 m de altura, en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633157 N, 367186 O y 2852 m s.n.m.

Se trata de un deslizamiento rotacional superficial, que comprometió suelos arcillo-limoso a arcillo-arenoso, arrancado al borde de un camino de herradura. El deslizamiento presenta una escarpa de forma elongada de 25 m de ancho, un salto principal de 0.5 m y ocupa una superficie estimada de 950 m<sup>2</sup>. El material comprometido se movilizó y se depositó en la ladera, sin causar daños (figura 11).



Figura 11: Vista con dirección al sureste donde se ha señalado con línea de color amarillo la escarpa los límites del deslizamiento rotacional D2.

**Causas:** Los deslizamientos D1 y D2 tienen las siguientes causas o condicionantes.

#### *Factores de sitio:*

- Substrato de mala calidad, se presenta moderadamente meteorizado.
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas y areniscas).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Orientación desfavorable de las discontinuidades, se inclinan a favor de la pendiente.
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, que al saturarse pierden cohesión e incrementan su plasticidad.
- Vegetación escasa (pastos y arbustos).
- Pendiente del terreno de 25°.
- Morfología de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

#### *Del entorno geográfico:*

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan; especialmente la ocurridas en el periodo enero-marzo del año 2017.
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua).

### 6.1.3 Deslizamiento rotacional D3

El deslizamiento se encuentra ubicado en el extremo noreste de Quinocay, en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633224 N, 366757 O y 2680 m s.n.m., a una distancia horizontal de las viviendas del poblado de 117 m y 18 m de altura.

El mencionado deslizamiento se activó en un suelo arcillo-limoso con grava y la parte superficial del substrato rocoso, con coloración negra a consecuencia de la materia orgánica contenida en la roca (arcillitas pizarrosas); al igual que los anteriores eventos descritos este se produjo en el periodo lluvioso enero-marzo del año 2017, dando lugar a agrietamientos, asentamientos y rotación o basculamiento de bloques de suelo (figuras 20 y 12).

El deslizamiento presenta una escarpa principal de forma irregular-alargada, que sigue una dirección general N 325°, tiene un salto principal de entre 0,30 m – 1 m (figura 13 y 14); el basculamiento del terreno formó grietas con aberturas de entre 0,5 m a 1,5 m (figura 15); se presentan dentro de cuerpo saltos secundarios y agrietamientos transversales; en el flanco derecho de deslizamiento también se observó hundimiento y separación del suelo con longitudes de entre 0.4 m – 1 m (figura 16). La longitud horizontal de la corona a la punta del deslizamiento es de 40 m; y ocupa una superficie aproximada de 2260 m<sup>2</sup>.

Se considera al deslizamiento como activo, que avanza ladera abajo, afectando terrenos de cultivo principalmente.



Figura 12: Vista con dirección al este donde se marcaron los límites del deslizamiento rotacional D3, por encima de la escarpa principal se ubica un reservorio de agua de concreto.



Figura 13: Vista con dirección al noroeste donde se muestra la escarpa principal del deslizamiento D3, con un salto de 0,30 m.



Figura 14: Vista con dirección al este donde se puede observar el salto principal de 1 m del deslizamiento D3.



Figura 15: Vista con dirección al noroeste donde se puede observar la escarpa principal del deslizamiento D3, el bloque de suelo basculado en el cuerpo y la abertura en el suelo de 1,5 m de longitud.



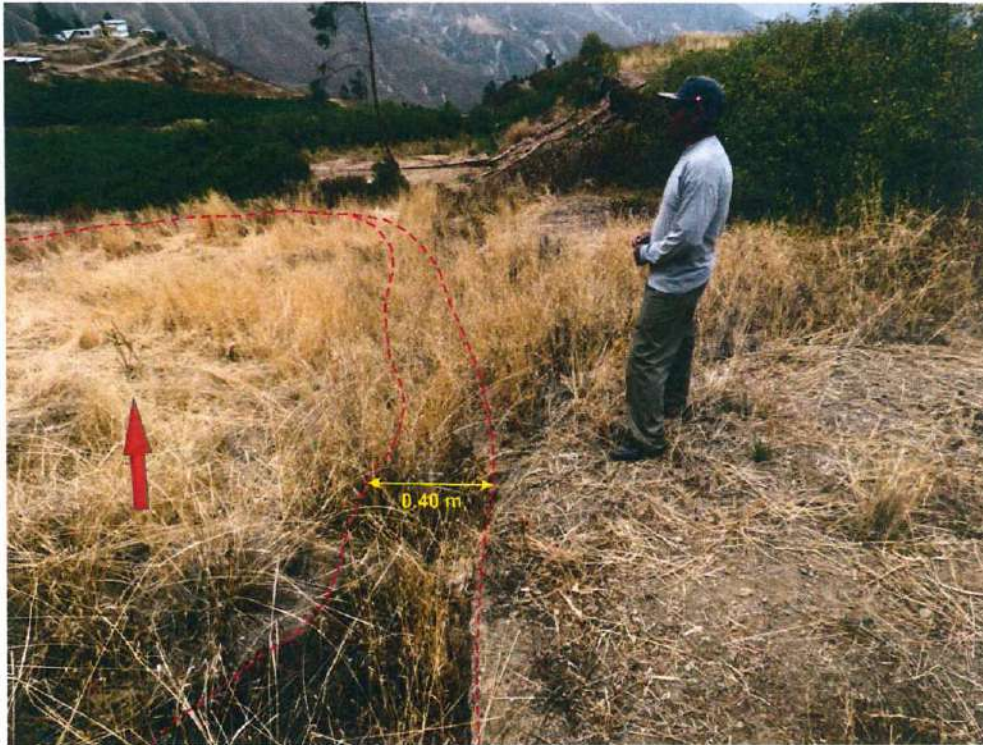


Figura 16: Vista con dirección al oeste donde se puede ver el flanco izquierdo del deslizamiento D3 y la abertura del terreno de 0,4 m.

**Causas:**

*Factores de sitio:*

- Substrato de mala calidad, se presenta moderadamente meteorizado.
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas y areniscas).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Orientación desfavorable de las discontinuidades, se inclinan a favor de la pendiente.
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, con contenido de materia orgánica, que al saturarse pierden cohesión e incrementan su plasticidad.
- Vegetación escasa (pastos y arbustos).
- Pendiente del terreno moderada de 5°-15°.
- Morfología de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

*Del entorno geográfico:*

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan (lluvias del periodo enero-marzo del año 2017).
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua).

*Factores antrópicos:*

- Presencia de reservorio de agua por encima de la corona de deslizamiento, con fugas de agua por la tubería de conducción que saturan los suelos (figura 17 y fotografía 5).



Figura 17: Vista aguas abajo con dirección al suroeste donde se puede apreciar el reservorio de agua de concreto ubicado por encima del deslizamiento D3.



Fotografía 5: Vista del suelo saturado con agua proveniente de fugas en las tuberías del reservorio de agua.

#### 6.1.4 Deslizamiento rotacional D4

Este evento se encuentra ubicado en la margen izquierda de la quebrada Cacayto, al noreste de la localidad de Quinocay, en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633465 N, 365770 O y 2481 m s.n.m., a una distancia horizontal de 18 m de un grupo de viviendas ubicadas en el sector.

El mencionado deslizamiento se activó en un sustrato de arcillitas y limolitas color rojizo a gris, que se altera a un suelo arcillo-limoso con gravas; a diferencia de los otros deslizamientos descritos, este evento puede ser identificado en imágenes satelitales Google Earth de fecha noviembre del año 2011, donde se manifestaban como unos incipientes derrumbes causados por la erosión en el pie de la ladera de la margen izquierda de la quebrada Cacayto. La actividad del deslizamiento D4 continuó y puede ser identificado como un deslizamiento rotacional propiamente dicho en la imagen satelital de fecha enero de 2016, para posteriormente incrementar su actividad durante el periodo lluvioso enero-marzo del año 2017, dando lugar a nuevos agrietamientos y asentamientos intensos de terrenos (figura 18).

El deslizamiento presenta una escarpa principal de forma irregular-alargada, que sigue una dirección general N 238°, tiene un salto principal de entre 2 m – 5 m (fotografía 6); se presentan dentro de cuerpo saltos secundarios y agrietamientos transversales; presencia de grietas con aberturas de hasta 0.20 m por detrás de la corona del deslizamiento, ubicadas entre 0.5 y 1 m del borde de la corona (fotografía 7). La longitud horizontal de la corona a la punta del deslizamiento es de 166 m; ocupa una superficie de 46 342 m<sup>2</sup>.

Se considera al deslizamiento D4 como activo, con una distribución avanzando ladera abajo y a su vez es retrogresivo.



Figura 18: Vista con dirección al sureste, donde se puede observar el deslizamiento rotacional D4 (línea color rojo) y la ubicación de la trocha carrozable.



Fotografía 6: Vista con dirección al noreste, donde se puede ver la escarpa principal del deslizamiento D4 de aproximadamente 5 m.



Fotografía 7: Grieta ubicada por detrás de la corona del deslizamiento rotacional D4, presenta una abertura de 0.20 m.

### **Causas:**

#### *Factores de sitio:*

- Substrato de mala calidad, se presenta moderadamente meteorizado.
- Alternancia de rocas de diferente competencia (arcillitas, limolitas y areniscas).
- Substrato rocoso poco resistente y deleznable.
- Afloramiento rocoso muy fracturado (separación de fracturas de entre 0.3-0.05 m) (fotografía 8)
- Orientación desfavorable de las discontinuidades (estratificación y fracturas de las rocas)
- Suelos de tipo arcilloso a arcillo-limoso con gravas (fotografía 9).
- Vegetación escasa (pastos, arbustos y cultivos).
- Pendiente del terreno moderada de 5°-15°.
- Morfología de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

*Del entorno geográfico:*

- Precipitaciones pluviales intensas, que saturan los terrenos y los desestabilizan (lluvias del periodo enero-marzo del año 2017).
- Presencia de aguas subterráneas (manantiales de agua).
- Dinámica fluvial (socavamiento al pie de la ladera).

*Factores antrópicos:*

- Sistema de riego inadecuado.
- Realización de cortes en la ladera para construir trocha carrozable que da acceso a terrenos de cultivo.



Fotografía 8: En la vista se puede observar el sustrato de arcillitas negras muy fracturado.



Fotografía 9: En la vista es posible observar el suelo arcillo-limoso con gravas y boques, derivado de la alteración de las arcillitas de la Formación Carhuaz.

### Daños:

- Produce la pérdida de terrenos de cultivo, localizados por encima de la corona del deslizamiento.
- Produce asentamientos en la plataforma (del orden de 0.05 m) y puede producir la pérdida de 260 m de trocha carrozable.
- Puede afectar viviendas ubicadas detrás de la corona del deslizamiento si continua con su avance retrogresivo.
- Puede represar el cauce de la quebrada Cacayto.

### **6.2 Agrietamientos en la localidad de Quinocay**

En el mapa de peligros por movimientos en masa (figura 20), se muestra la cartografía de grietas tensionales abiertas encontradas en las laderas superiores a la localidad de Quinocay; estas grietas aparecieron después del periodo lluvioso 2017 (enero-marzo); hasta el momento que se realizó la inspección de campo, estos agrietamientos no constituyen un movimiento en masa propiamente dicho, sino que correspondería a la formación de nuevos deslizamientos rotacionales en la ladera.

Se tienen las siguientes zonas donde se identificaron agrietamientos en el terreno:

#### **a) Zonas G1 y G2**

Corresponde a un conjunto de grietas localizadas por encima del deslizamiento **D3**, que tienen una disposición subparalela. La primera grieta denominada **G1**, se ubica a 336 m de distancia horizontal de deslizamiento **D3**, en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633228 N, 367125 O y 2847 m s.n.m. La grieta sigue una dirección de N 144°, presenta aberturas de 0.30 m – 1.0 m, tiene una longitud aproximada de 147 m (fotografía 10).



Fotografía 10: Vista con dirección al sureste donde se puede observar la grieta G1, con una abertura de aproximadamente 0.30 m.

La grieta denominada **G2** se ubica a 64 m de distancia horizontal de deslizamiento **D3**, en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633231 N, 366842 O y 2707 m s.n.m. La grieta sigue una dirección de N 147°, presenta aberturas de 0.10 m – 0.15 m, produce el asentamiento en el terreno de entre 0.30 m a 1.0 m, tiene una longitud de 29 m (fotografía 11 y figura 19); los agrietamientos pueden ser consecuencia de un deslizamiento confinado en formación, en donde todavía no es posible observar el pie del evento.

Se considera que ambas familias de grietas son de origen tensional, donde la ocurrencia del deslizamiento rotacional **D3** ubicado en la parte inferior, desestabilizó la ladera superior y condicionó su ocurrencia; estas se encuentran activas y pueden generar la ocurrencia de un nuevo deslizamiento en la zona.



Fotografía 11: Vista de la grieta G2 donde se puede observar el salto que produjo en el terreno de unos 0.40 m.



Figura 19: Vista con dirección al noreste donde se puede observar el salto en el terreno del orden de los 0.30 m, por la posible presencia de un deslizamiento con actividad confinada.

Las grietas se formaron en una ladera de montaña sedimentaria de pendientes moderadas ( $15^\circ$ ) a muy fuerte ( $25^\circ$ - $45^\circ$ ), comprometen suelos arcillo-limoso con gravas de color anaranjado, medianamente compactados y un substrato rocoso de arcillitas. Las grietas representan un peligro constante a las personas y animales que transitan por la zona; como ocurrió el año 2017, donde una vaca murió al caer en la grieta **G1** (fotografía 12).



Fotografía 12: Vista con dirección al sureste donde se puede observar el trazo de la grieta G1 y la abertura en el terreno del orden de 1.0 m; también es posible observar los restos óseos de una vaca caída en la grieta el año 2017.

#### b) Zona G3

Es una grieta tensional que podría formar parte de un deslizamiento confinado, en donde no se observa el pie del evento; se localiza en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8633067 N, 366919 O y 2709 m s.n.m., a una distancia de 142 m, al este de la localidad de Quinocay.

La grieta sigue una dirección de  $N 172^\circ$ , presenta aberturas en el terreno del orden de los 0.20 m, así como saltos de entre 0.10 – 0.15 m y una longitud de 15 m; ha producido el basculamiento de un bloque de suelo (fotografía 13).



Fotografía 13: Vista en la que se puede observar el agrietamiento y basculamiento del suelo a consecuencia de la ocurrencia de la grieta G3.



**Causas:**

*Factores de sitio:*

- Configuración geomorfológica del área (ladera de montaña en roca sedimentaria)
- Características litológicas del área (intercalaciones de arcillitas pizarrosas, limolitas y areniscas).
- Substrato rocoso muy fracturado.
- El tipo de suelo: En la zona de grietas G1 y G2 los suelos son de tipo arcillo-limoso con poca grava, que proviene del substrato rocoso de arcillitas, y un suelo areno-limoso producto de la alteración de rocas tipo granodiorita. En la zona de grieta G3, el suelo es arcillo-limoso con gravas.
- Pendiente del suelo que va de moderada (5°-15°) a muy fuerte (25°-45)
- Cobertura vegetal de tipo pastizales, cultivos y matorrales dispersos, que ofrecen poca protección al suelo.

*Del entorno geográfico:*

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

*Factores antrópicos:*

- Mal diseño y construcción de canales de coronación utilizados para drenar las aguas caídas durante el periodo lluvioso enero-marzo del año 2017; se construyó un canal en el trazo mismo de la grieta G1, posibilitando que el agua se infiltre por esta grieta la subsuelo y desestabilice la ladera.

**Daños:**

- Las grietas pueden comprometer la seguridad física de personas y animales que transitan por la zona.
- Las grietas pueden producir el asentamiento del terreno si es que evolucionan a deslizamientos rotacionales.

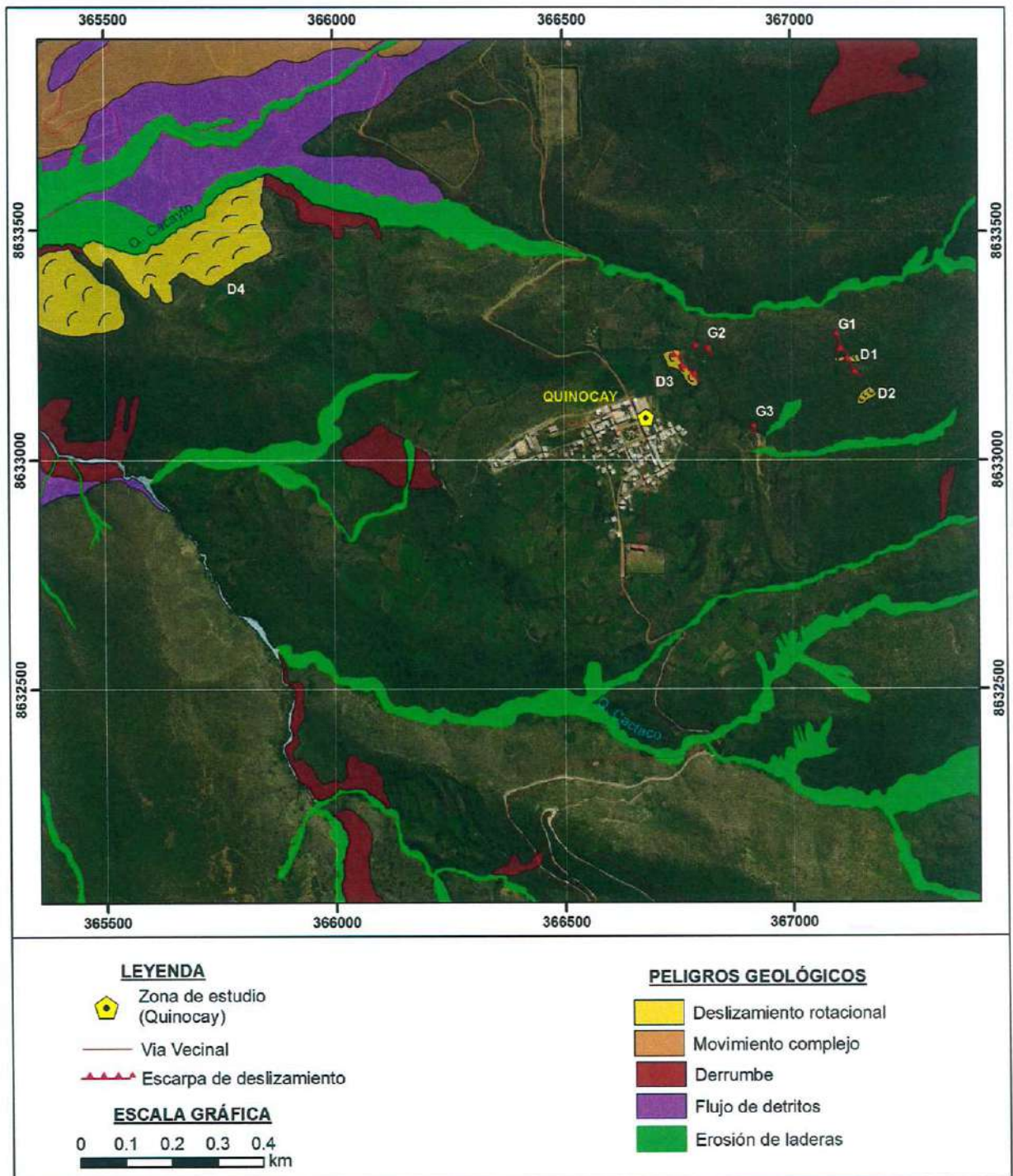


Figura 20: Peligros geológicos por movimientos en masa en la localidad de Quinocay

### 6.3 Movimiento complejo del cerro Corral Quinchino

Corresponde a un mega-evento antiguo reactivado, catalogado como movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra) (figura 26), cuya escarpa principal arranca en la ladera suroeste del cerro Corral Quinchino, al norte de la localidad de Quinocay a una distancia de 1.1 km; se localiza en coordenadas centrales UTM WGS-84: 8635577 N, 367245 O y 3352 m s.n.m.

El movimiento complejo tiene una longitud de escarpa aproximada de 2,5 km y una longitud horizontal entre la escarpa y la punta de 3.546 km, abarca un área aproximada de 2 675 829 m<sup>2</sup>; el evento estaría afectando tanto el suelo como parte del substrato rocoso (figuras 21 y 22). El cuerpo del movimiento complejo presenta una topografía característica ondulada, con la presencia de colinas de baja altura.

En el cuerpo de movimiento complejo, se han producido dos reactivaciones; la primera reactivación (R1), corresponde a un movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra) que tiene una escarpa de 800 m de longitud y se encuentra ubicada cerca de la escarpa del evento principal. La segunda reactivación (R2), corresponde a otro movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra), que se ubica cerca de la punta del cuerpo de la primera reactivación (R1); este evento tiene un ancho de escarpa de 320 m, un salto principal de 10 m y saltos secundarios de más de 5 m; también se tienen agrietamientos paralelos por detrás de la escarpa del evento (figuras 23 y 24), sí como de agrietamientos transversales a la dirección de avance del evento.

El tipo de roca comprometida en el movimiento complejo corresponde a secuencias volcánico-sedimentarias de la Formación Tantará (andesitas intercaladas con conglomerados y areniscas) en la zona de arranque y secuencias sedimentarias de la Formación Carhuaz (arcillitas pizarrosas, intercaladas con limolitas y areniscas) en el cuerpo del movimiento complejo; estas últimas se presentan poco resistentes y deleznable, por lo que se considera de mala calidad geotécnica. Las rocas del substrato al descomponerse conforman un suelo arcilloso a arcillo-limoso con gravas, de color pardo a anaranjado, de plasticidad media y baja permeabilidad.

Dentro del cuerpo del movimiento complejo se viene construyendo un reservorio de agua, el cual puede ser afectado si se producen nuevas reactivaciones en el cuerpo del evento (figura 25).



Figura 21: Vista con dirección al noroeste donde se han marcado límites del movimiento complejo de cerro Corral Quinchino, así también se señala la ubicación de las dos reactivaciones ocurridas en el cuerpo del evento principal (R1 y R2).

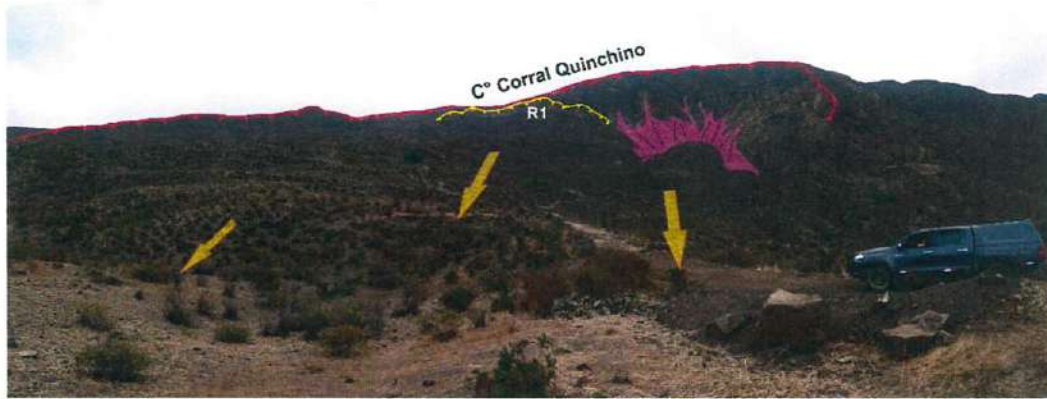


Figura 22: Vista con dirección al noreste donde se puede observar la escarpa principal del movimiento complejo del cerro Corral Quinchino, la reactivación R1 y los depósitos de flujo de detritos que se acumulan en la parte superior del cuerpo del evento.

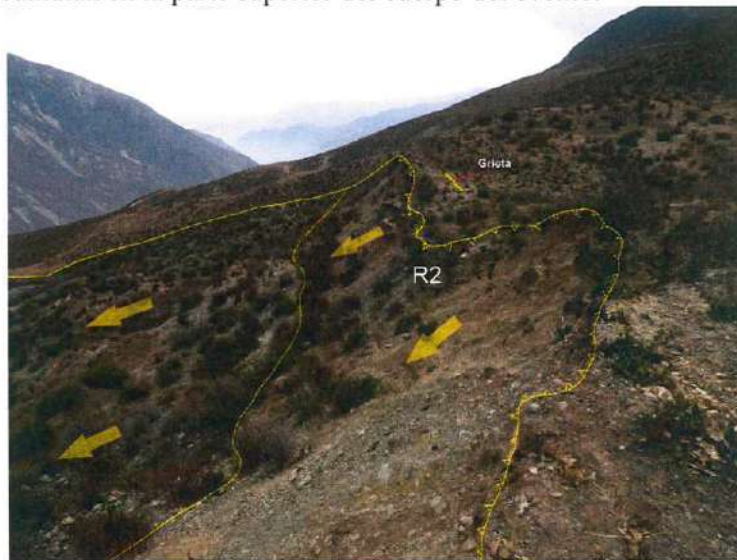


Figura 23: Vista con dirección al noroeste, donde se puede observar la escarpa principal de la reactivación R1 en el cuerpo del movimiento complejo del cerro Corral Quinchino.



Figura 24: Grieta con abertura de 0.10 m ubicada detrás de la escarpa principal de la reactivación R1.



Figura 25: Vista con dirección sureste donde se puede observar el reservorio de agua asentado en parte del cuerpo del movimiento complejo.

Otro proceso que se viene produciendo dentro de los límites del movimiento complejo del Cerro Corral Quinchino, es una sucesión de flujos de detritos que tienen su origen en unos derrumbes, donde las zonas de arranque se localizan en la escarpa del movimiento complejo; los materiales que acarrear los flujos de detritos no alcanzan el curso de alguna quebrada, ya que se depositan en el sector superior del cuerpo del evento (figura 22).

**Causas:**

*Factores de sitio:*

- Configuración geomorfológica del área (montañas modeladas en rocas sedimentarias y volcánico-sedimentarias).
- Características litológicas del área (andesitas intercaladas con conglomerados y areniscas; arcillitas pizarrosas oscuras, con intercalaciones de limolitas y areniscas), de calidad geotécnica mala.
- Substrato rocoso con un grado de meteorización moderado y muy fracturado.
- 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.
- Presencia de material de remoción antiguo, susceptible a que se generen nuevos movimientos en masa o reactivaciones.
- Pendiente del terreno. En la escarpa se tiene pendiente fuerte (15°-25°) a muy fuerte (25°-45°); en el cuerpo del movimiento complejo se tienen pendientes moderadas (5°-15°) y fuertes (15°-25°).
- 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).
- Sismicidad de la zona.

**Daños:**

- Con nuevas reactivaciones puede ser afectado el reservorio de agua que se está construyendo en el cuerpo del movimiento complejo.

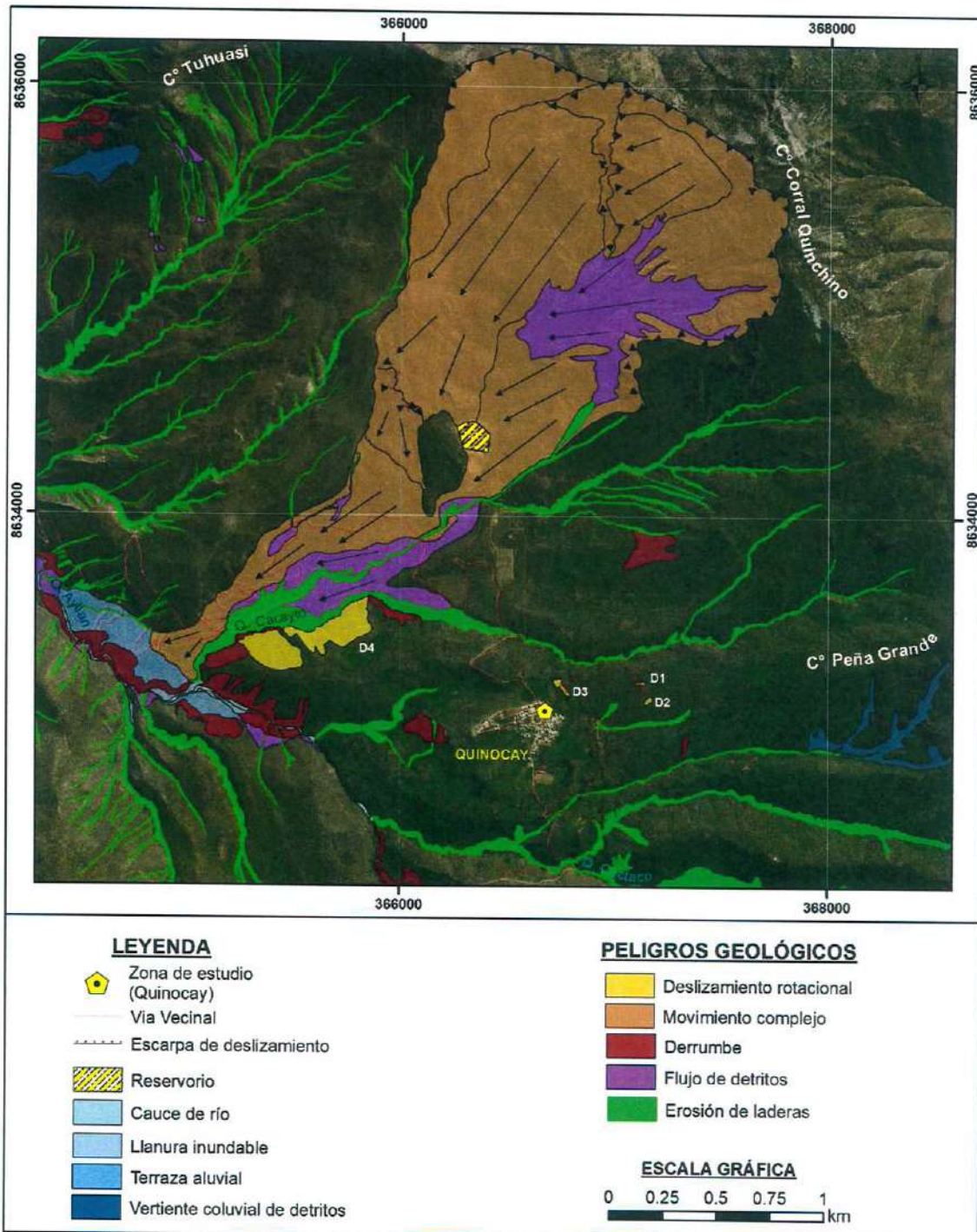


Figura 26: Mapa de peligros geológicos por movimientos en masa en la localidad de Quinocay y alrededores.

#### 6.4 Erosión de laderas en la localidad de Quinocay y alrededores

Se identifico en la cuenca de la quebrada Ayllán, un intenso proceso de erosión de laderas (surcos y cárcavas) que afectan las vertientes de la quebrada; se observa que este proceso de erosión se encuentra en una etapa de inicial de formación, donde se viene produciendo la incisión, profundización y ensanchamiento de los canales de erosión; el ensanchamiento de surcos y cárcavas está directamente relacionado a la ocurrencia de derrumbes y deslizamientos en las márgenes, cuyos materiales colapsados se acumulan dentro de los canales de erosión; posteriormente estos materiales sueltos, durante los periodos de lluvia pueden ser movilizados nuevamente como flujos de detritos (huaicos) que se canalizan por las cárcavas o surcos.

El substrato rocoso afectado por los procesos de erosión de laderas son principalmente secuencias sedimentarias compuestas por arcillitas pizarrosas, con intercalaciones de limolitas y areniscas de la Formación Carhuaz.

En la localidad de Quinocay, este tipo de procesos se identifico en las laderas superiores al poblado; se trata de dos cárcavas en estado de latencia, cuyos límites han sido ocupados por vegetación de tipo matorrales; las cárcavas tienen longitudes de 476 m y 113 m, con anchos de entre 20 m y 27 m; y profundidad de hasta 4 m (figura 27). Por estas cárcavas se pueden canalizar flujos de detritos, cuya magnitud estará relacionada a la reactivación de las márgenes de la cárcava, la cantidad de lluvia caída en la zona y presencia de aguas subterráneas; estos flujos pueden afectar viviendas del poblado de Quinocay.



Figura 27: Vista con dirección al este donde se puede observar la ladera superior al poblado de Quinocay que ha sido disectada por una cárcava (línea color amarillo).

## 7. CONDICIONES ACTUALES DEL SITIO

En la actualidad, persisten las características intrínsecas del terreno que favorecen la ocurrencia de movimientos en masa (movimiento complejo, deslizamientos y agrietamientos) y los procesos de erosión de laderas, por lo que se debe tener presente que, con nuevos episodios de lluvias extraordinarias, la actividad de los eventos identificados puede continuar e incluso incrementarse, conllevando esto a que se produzcan nuevos asentamientos de terreno.

La continuidad de la actividad y la generación de nuevos eventos puede tener como consecuencia la afectación de viviendas, terrenos de cultivo y la infraestructura de riego (canales); incluso si los agrietamientos tensionales identificados en las laderas superiores de Quinocay llegan a configurar deslizamientos rotacionales pueden comprometer la seguridad física de las viviendas del poblado. Así también, las viviendas ubicadas detrás de la corona del deslizamiento rotacional D4 pueden resultar comprometidas con el avance retrogresivo del evento.

Estas apreciaciones se sustentan en las siguientes condiciones encontradas en la zona evaluada:

- La geoforma de montañas modeladas en rocas sedimentarias, que configura en algunos sectores un terreno de forma escalonada; las pendientes en las laderas van desde el rango de moderadas ( $5^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ) a fuertes ( $25^{\circ}$ - $45^{\circ}$ ), siendo de inclinación suave en las zonas de rellano de las laderas.
- Características litológicas del substrato conformado por rocas de tipo arcillitas con intercalaciones de limolitas y areniscas, que se presentan muy fracturadas y moderadamente meteorizadas.
- Suelos de naturaleza arcillo-limoso con gravas.
- Presencia de agrietamientos abiertos localizados en lado noreste por encima de la localidad de Quinocay.
- Presencia de depósitos de remoción antiguo, que forma parte del movimiento complejo del cerro Corral Quinchino.
- Presencia de infraestructura hidráulica para riego (tuberías y reservorios) en mal estado, que presentan fugas de agua.
- Las reactivaciones de tipo movimientos en masa identificadas dentro del cuerpo del movimiento complejo del cerro Corral Quinchino, manifestado como el empuje y asentamiento del terreno.



## CONCLUSIONES

- a) En la localidad de Quinocay, del distrito de Quinocay, se identificó peligros geológicos por movimientos en masa (deslizamientos y movimientos complejos) y otros peligros geológicos (erosión de laderas).
- b) Se identificaron tres deslizamientos rotacionales activos denominados como **D1**, **D2** y **D3**, localizados en las laderas superiores al poblado de Quinocay; así también, se identificaron en este sector tres zonas con agrietamientos tensionales, uno de los cuales ha producido un asentamiento de la ladera; estos eventos pueden llegar a configurar nuevos deslizamientos rotacionales. El deslizamiento rotacional activo D4 se localiza a 700 m al noroeste del poblado de Quinocay, la actividad retrogresiva de este evento produce asentamientos en la plataforma de una trocha carrozable y puede afectar las viviendas que se encuentran asentadas a poco más de 10 m por detrás de la corona del deslizamiento. Estos eventos tuvieron como detonante las precipitaciones pluviales extraordinarias producidas entre los meses de enero y marzo del 2017, donde se registraron valores de más de 600 mm.
- c) En la ladera suroeste del cerro Corral Quinchino, se identificó un movimiento complejo (deslizamiento rotacional-flujo de tierra) de gran magnitud, en cuyo cuerpo se han producido reactivaciones de movimientos en masa que producen asentamientos en el terreno; también se presentan flujos de detritos no canalizados que tiene su zona de arranque en la escarpa principal del movimiento complejo, los materiales que movilizan se depositan en la parte superior del cuerpo del evento.
- d) Se identificó procesos de erosión de laderas intensa que afecta gran parte de las vertientes de la microcuenca de la quebrada Ayllán, donde se encuentra asentada la localidad de Quinocay; así, se tiene dos cárcavas en estado de latencia ubicadas por encima del poblado, las cuales pueden reactivarse y acarrear flujos de detritos.
- e) Los factores condicionantes que favorecieron la ocurrencia de los movimientos en masa, agrietamientos y erosión de laderas son el tipo de substrato conformado por secuencias de rocas sedimentarias (arcillitas con intercalaciones de limolitas y areniscas), muy fracturados y moderadamente meteorizados; suelos arcillo-limosos con gravas de plasticidad media y baja permeabilidad; la pendiente del terreno que va de moderada (5°-15°) a fuerte (25°-45°); la vegetación de tipo matorrales y pastos que se distribuyen de forma regular en la ladera y la presencia de aguas subterráneas. El factor desencadenante son las precipitaciones pluviales con valores extraordinarios.
- f) Dado que las condiciones de inestabilidad continúan en los sectores evaluados, se **considera esta como una zona del alto peligro**, debido a que se pueden presentar nuevas reactivaciones y los agrietamientos tensionales pueden llegar a configurar deslizamientos rotacionales ante la ocurrencia de lluvias extraordinarias o sismos.

## RECOMENDACIONES

Dentro de las recomendaciones que deben tomarse en cuenta a corto y mediano plazo son las siguientes:

- a) 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, que favorezcan la formación de movimientos en masa.
- b) 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 terreno.
- c) Reubicar el canal de coronación elaborado por los pobladores de Quinocay el año 2017 que sirve para captación de agua de escorrentía pluvial; este canal fue construido aprovechando el trazo de la grieta G1, lo que favorece la infiltración del agua de escorrentía por la grieta hacia el subsuelo y por ende la desestabilización de la ladera. El nuevo canal o zanja de coronación debe construirse por encima y lejos de la grieta, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de una nueva superficie de falla en el terreno; este canal debe ser totalmente impermeabilizado y tener suficiente pendiente para para garantizar un rápido drenaje del agua captada (figura 28).

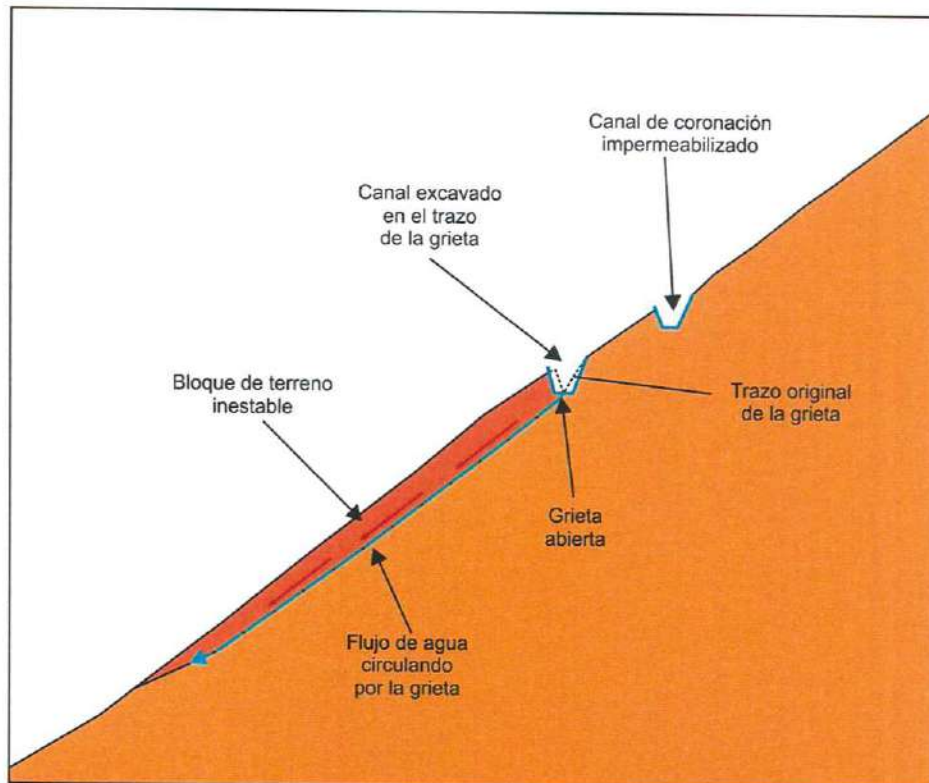


Figura 28: Ubicación correcta de canal o zanja de coronación por encima de grietas.

- d) Dar mantenimiento y reparar el reservorio de concreto y las tuberías de conducción de agua, para evitar fugas de agua que produzcan la saturación del terreno.
- e) Impermeabilizar el reservorio de agua que se ubica en el cuerpo del movimiento complejo del cerro Corral Quinchino, buscando evitar la infiltración de agua en el subsuelo, que podría producir nuevas reactivaciones en el terreno.

- f) 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. (figuras 29 al 34).

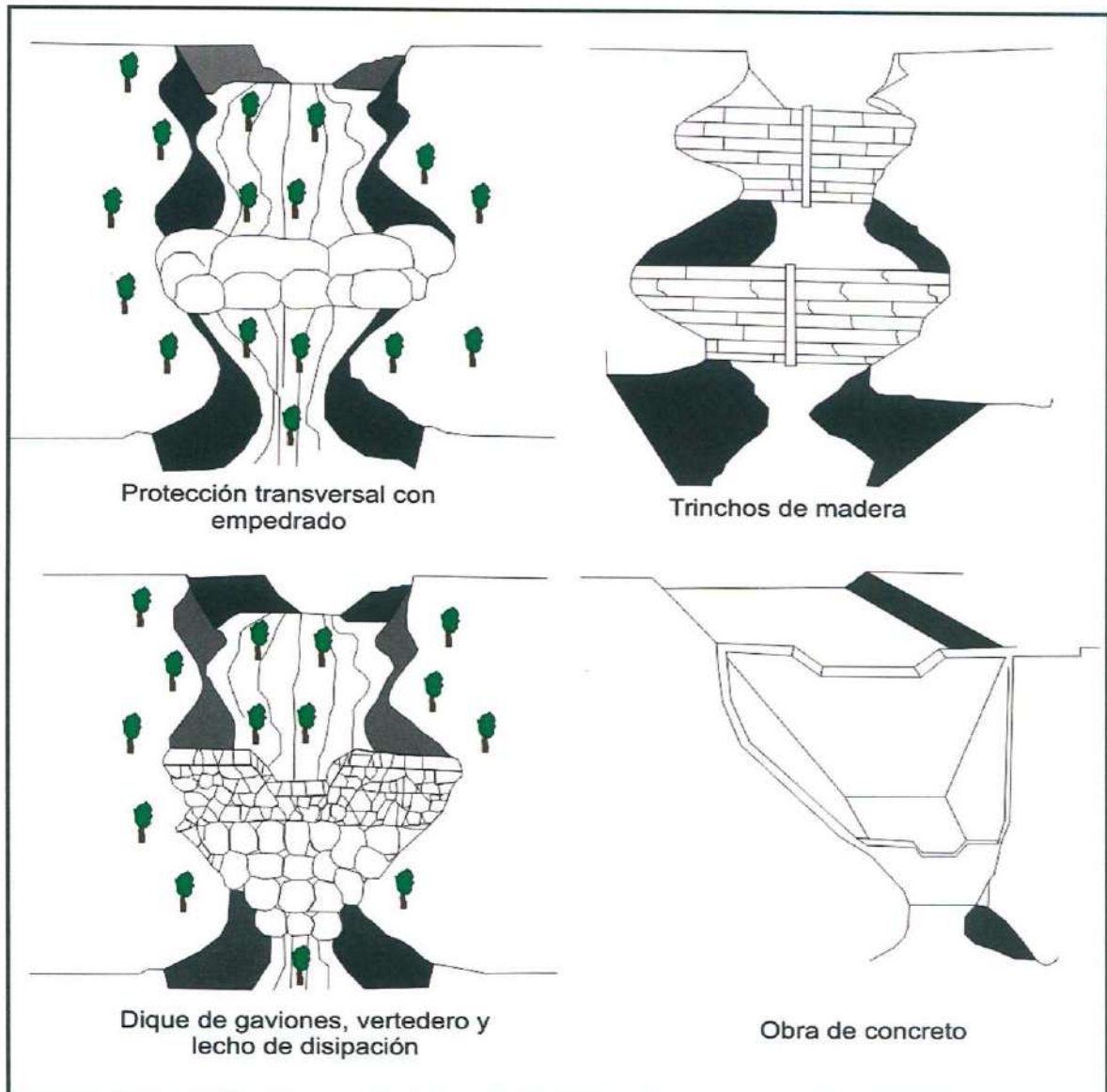


Figura 29: Obras hidráulicas transversales para el control de la erosión en cárcavas. (Instituto Nacional de Vías-Ministerio de Transporte Republica de Colombia, 1998)

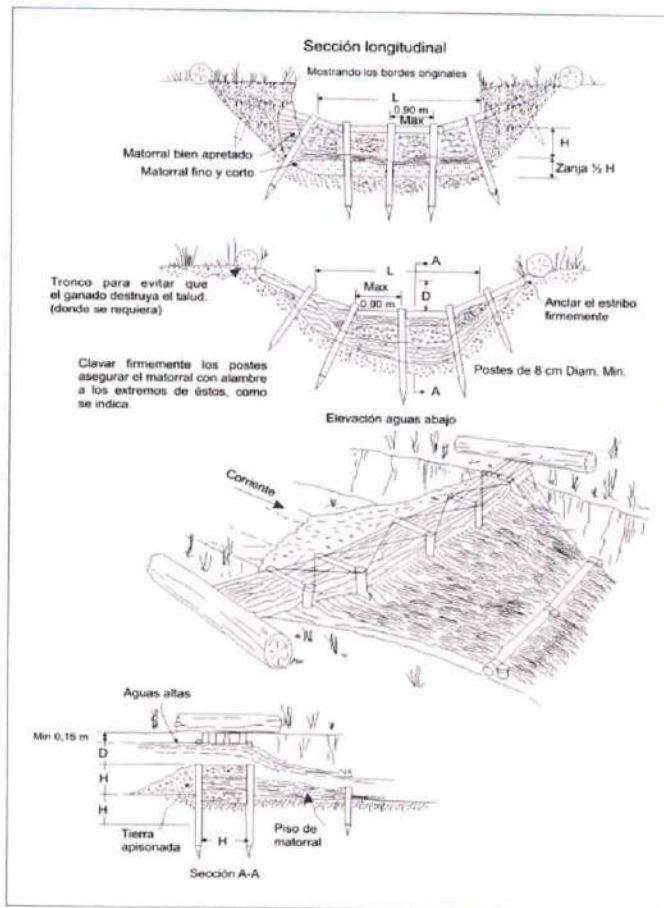


Figura 30: Trincho de madera tipo doble hilera (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).

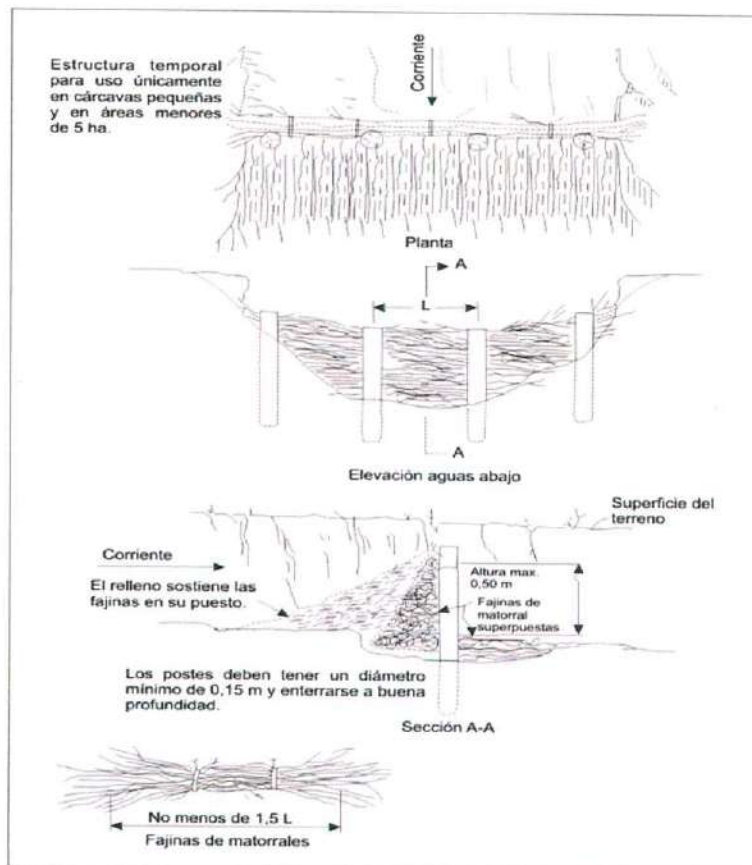


Figura 31: Trincho de matorral de tipo hilera de postes (adaptado de Valderrama *et al.*, 1964).

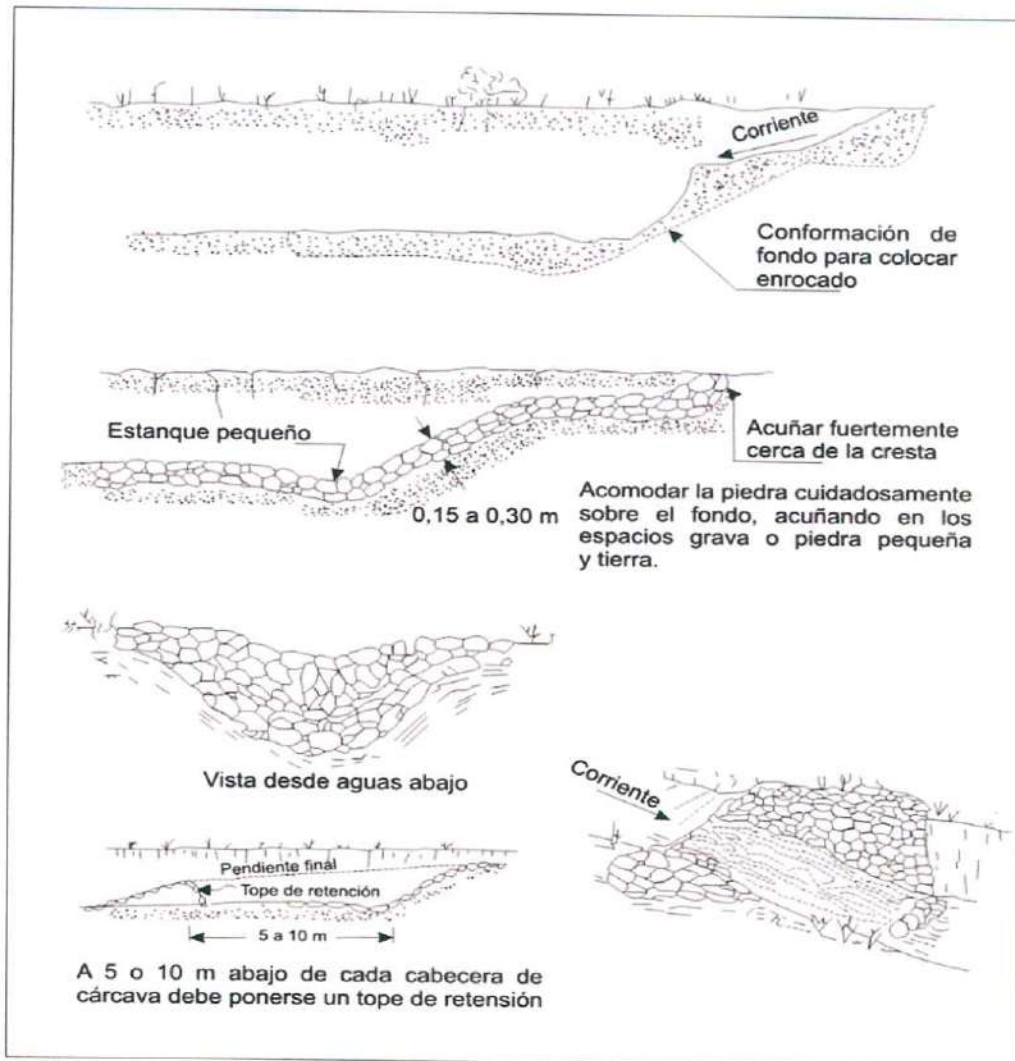


Figura 32: Trincho de piedra para cabecera de cárcava en zona de erosión (adaptado de Valderrama et al., 1964).

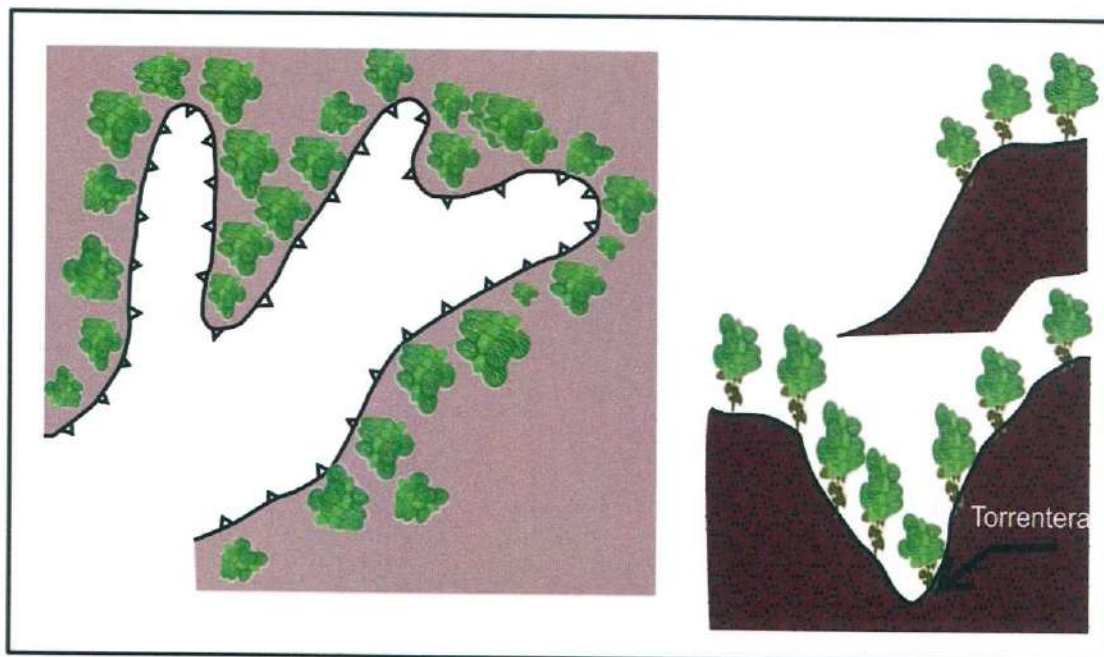


Figura 33: Vista de planta y en perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

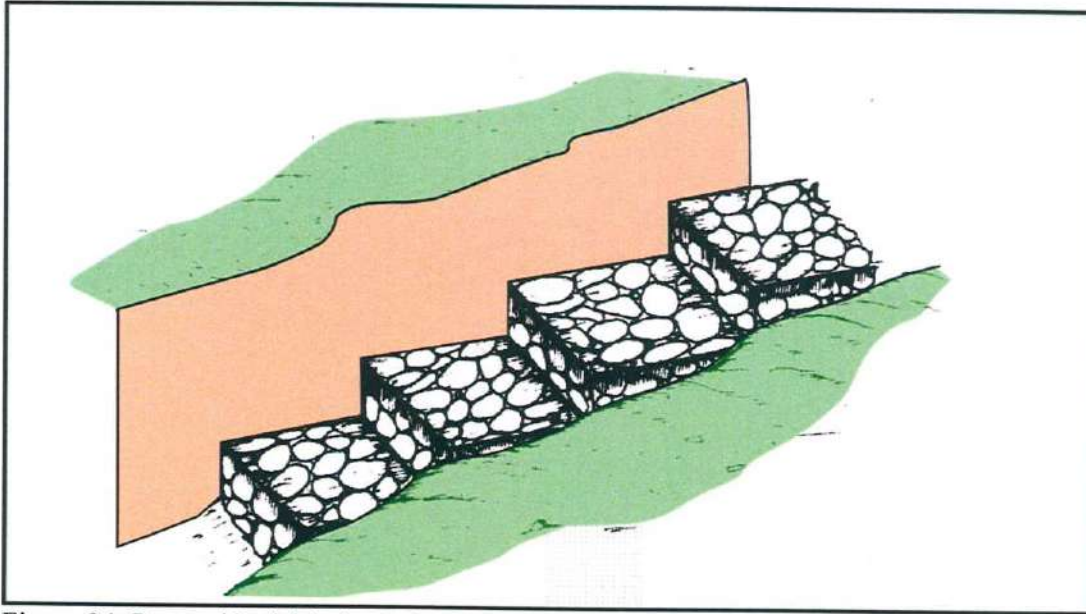


Figura 34: Protección del lecho de la cárcava o quebrada.

- g) Realizar un estudio geofísico en la zona (método de tomografía eléctrica o sondaje eléctrico vertical-SEV), para determinar la ubicación y altura del nivel freático; información que permitirá diseñar un sistema de drenaje en la localidad de Quinocay y evitar anegamientos por afloramiento de agua subterránea en superficie.
- h) 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 MARÍA MATA  
Especialista en Peligros  
Geológicos  
INGEMMET

## 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.
- INGEMMET (2003) - Estudio de riesgos geológicos del Perú – Franja 3. Boletín N° 28, serie C, geodinámica e ingeniería geológica. INGEMMET: Lima, 373 p.
- 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.
- Salazar, H. (1983) - Geología de los cuadrángulos de Matucana y Huarochirí. Boletín N° 63, serie A, Carta geológica Nacional. INGEMMET: Lima. 79 p.
- Thornbury W. D. (1966) - *Principios de geomorfología*. Buenos Aires: Kapelus.
- 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.