

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7089

EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEODINÁMICA EN EL SECTOR APV 20 DE ENERO

Región Cusco
Provincia Cusco
Distrito Poroy



OCTUBRE
2020

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

Equipo de investigación:

Guisela Choquenaira Garate

Referencia bibliográfica

Choquenaira, G. (2020). Evaluación geológica y geodinámica en el sector APV 20 de Enero. Distrito Poroy, provincia Cusco, región Cusco, informe inédito. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, Informe Técnico A7089, 26 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio	2
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	2
1.3. Aspectos generales	3
1.3.1. UBICACIÓN	3
1.3.2. ACCESIBILIDAD	4
1.3.3. CLIMA	4
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
2.1. Unidades litoestratigráficas	5
2.1.1. FORMACIÓN MARAS (Kis-ma)	6
2.1.2. FORMACIÓN VILQUECHICO (Ks-vi)	6
2.1.3. FORMACIÓN AUSANGATE (KsP-a)	6
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	7
3.1. Pendientes del terreno	7
3.2. Unidades geomorfológicas	7
3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL ..	8
3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL	9
4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS	11
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	11
4.2. Descripción del evento: “Deslizamiento del cerro Roquellocata”	11
4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO	12
4.2.2. FACTORES CONDICIONANTES	16
4.2.3. FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES	16
4.2.4. DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIO	16
5. CONCLUSIONES	17
6. RECOMENDACIONES	18
7. BIBLIOGRAFÍA	19
ANEXO 2: GLOSARIO	20
ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	21

RESUMEN

El presente informe técnico es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa, realizados en el sector APV 20 de Enero, pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad distrital de Poroy, provincia y región Cusco. 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 de la Formación Ausangate (lutitas y margas rojas con intercalaciones delgadas de yeso de medios lacustres y arenas fluviales hacia la parte superior). Los movimientos en masa identificados en la zona, se desarrollaron principalmente en material coluvial.

Las geoformas identificadas corresponden a las de origen tectónico-degradacional (colinas en rocas sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional principalmente originada por la ocurrencia de movimientos antiguos, que configuran geoformas de Piedemonte (vertiente con depósitos de deslizamiento y coluvio - deluvial). Se considera que el principal factor condicionante que origina la ocurrencia de peligros geológicos por movimientos en masa, es la pendiente del terreno que va de moderada (5° - 15°) a fuerte (15° - 25°).

Los procesos identificados en el cerro Roquellocata - APV 20 de Enero corresponden a los denominados movimientos en masa (deslizamiento y derrumbes), eventos antiguos que han sufrido reactivaciones; también se identificó zonas con agrietamientos longitudinales. Estos procesos han afectado viviendas y 80 m de trocha carrozable.

Se concluye que el área de estudio es considerada de **Alto** peligro a la ocurrencia de deslizamientos, que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas (noviembre a marzo) y por movimientos sísmicos.

Finalmente, se recomienda reubicar las viviendas del sector APV 20 de Enero, por estar asentado en zona de peligro alto a movimientos en masa.

INTRODUCCIÓN

El INGEMMET, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos y consideraciones geotécnicas 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 (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Poroy, según oficio N°056-2020-MDP/AL, reiterativo oficio múltiple N°096-2020-MDP/GM, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de los eventos de tipo deslizamiento, ocurridos el día domingo, 16 de febrero de 2020, que afectó trocha carrozable y viviendas del sector APV 20 de Enero.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET designó a Ing. Guisela Choquenaira Garate, para realizar la evaluación geológica en el sector APV 20 de Enero, el 18 de setiembre de 2020.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Poroy, 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:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se desarrollan en el sector APV 20 de Enero.
- b) Emitir las recomendaciones pertinentes para la prevención o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Entre los principales estudios realizados a nivel regional en el sector APV 20 de Enero, se tienen:

- A) Boletín N° 74, serie C, geodinámica e ingeniería geológica: “Peligro geológico en la región Cusco” (2020); el estudio realiza un análisis de susceptibilidad a movimientos en masa (escala 1: 100 000), donde el sector APV 20 de Enero presenta muy alta susceptibilidad (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.

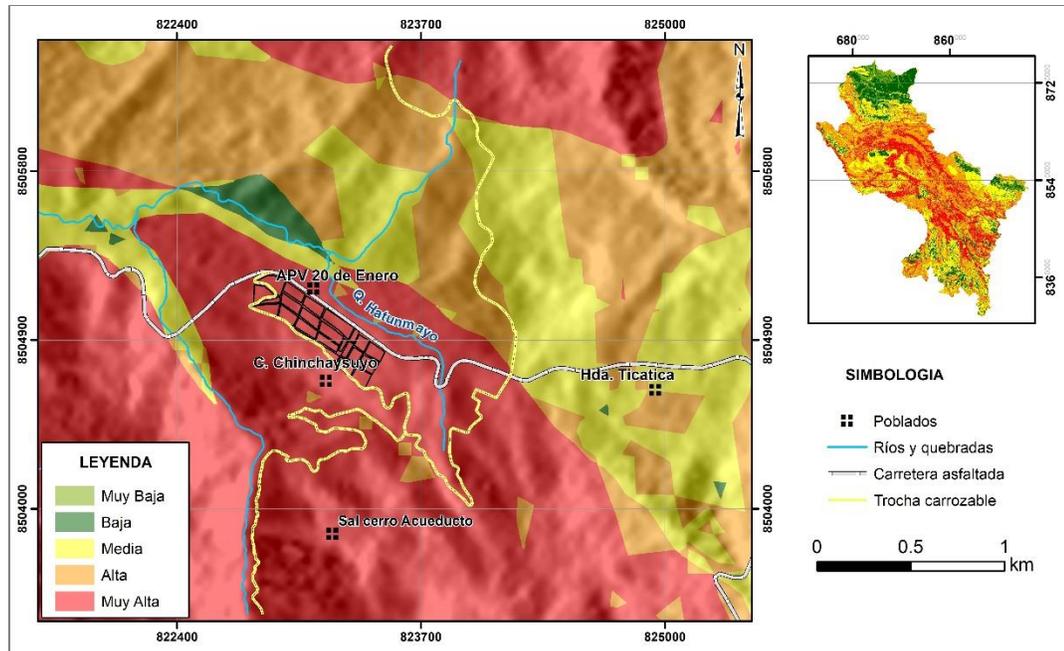


Figura 1. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa del sector APV 20 de Enero (Vílchez, 2020).

- B) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Cusco (28-s) y Tambobamba (28-r1) (INGEMMET, 2003); describe la geología a escala 1: 50 000, información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía. Además, señala de manera regional las unidades geomorfológicas donde se asienta el sector APV 20 de Enero.
- C) Estudio de Riesgos Geológicos del Perú, Franja N° 3 (INGEMMET, 2001) menciona que, en los alrededores de la zona de estudio se han identificado peligros geológicos de tipo deslizamientos y flujo de detritos (huaicos), también peligros hidrogeológicos de tipo inundación fluvial.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. UBICACIÓN

El cerro Roquellocata – sector APV 20 de Enero, se ubica a 16 km al oeste de la ciudad del Cusco, pertenece al distrito de Poroy, provincia y región Cusco (figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 18 S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

N°	UTM - WGS84 - Zona 19L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	822704	8505241	-13.49	-72.02
2	823959	8504832	-13.50	-72.01°
3	823480	8504373	-13.51°	-72.00°
4	822478	8504868	-13.50	-72.02°
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
C	823008	8504851	-13.50	-72.01°

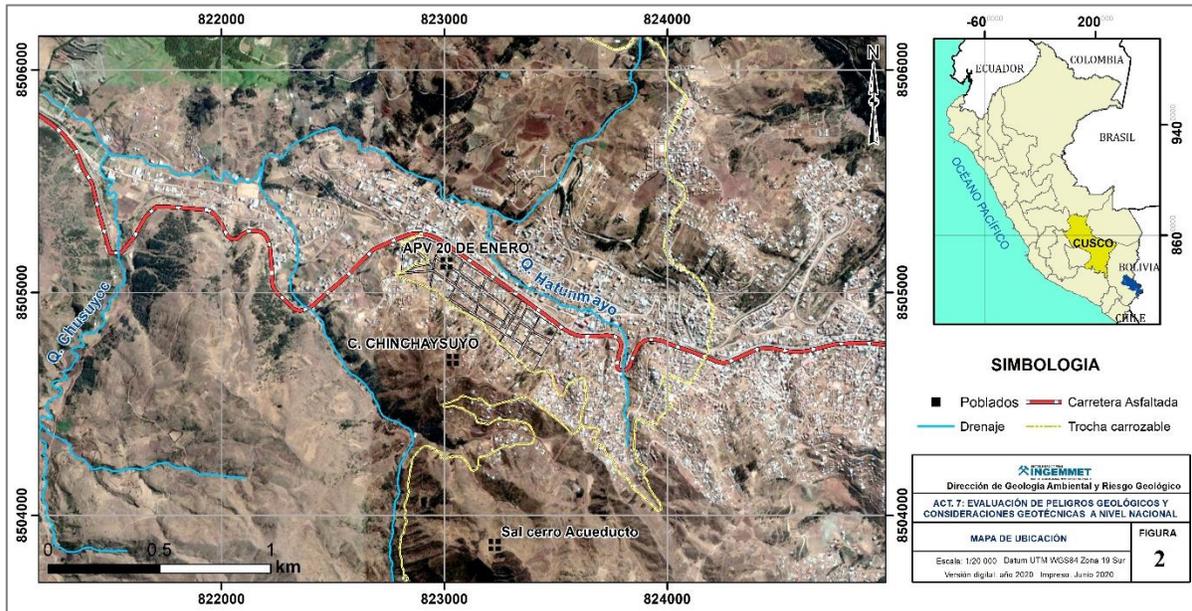


Figura 2. Mapa de ubicación del sector APV 20 de Enero, distrito de Poroy, provincia y región Cusco.

1.3.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la zona de estudio desde la ciudad de Cusco, se realizó mediante la siguiente ruta:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Cusco– Poroy	Asfaltada	16	40 minutos
Poroy– sector APV 20 de Enero	Camino carrozable	4.8	10 minutos

1.3.3. CLIMA

La ciudad del Cusco presenta dos temporadas claramente marcadas, una conocida como época de lluvias de noviembre a abril y otra temporada seca, de mayo a octubre. El distrito de Poroy, ubicado a 16 km de Cusco, presenta un clima templado – seco,

con precipitación media anual de 46 mm. La temperatura media anual es de 23°C (SENAMHI).

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se elaboró teniendo como base la revisión y actualización de los cuadrángulos de Cusco (Carlotto et al., 2003) y Tambobamba (Galdós et al., 2020), donde se tienen principalmente rocas sedimentarias del Cretácico. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales y observaciones de campo.

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada y alrededores son de origen sedimentario, cubierto por depósitos coluvio - deluviales que han sido acumulados por procesos erosivos (figura 3). Localmente se han identificado depósitos coluviales y antropógenos.

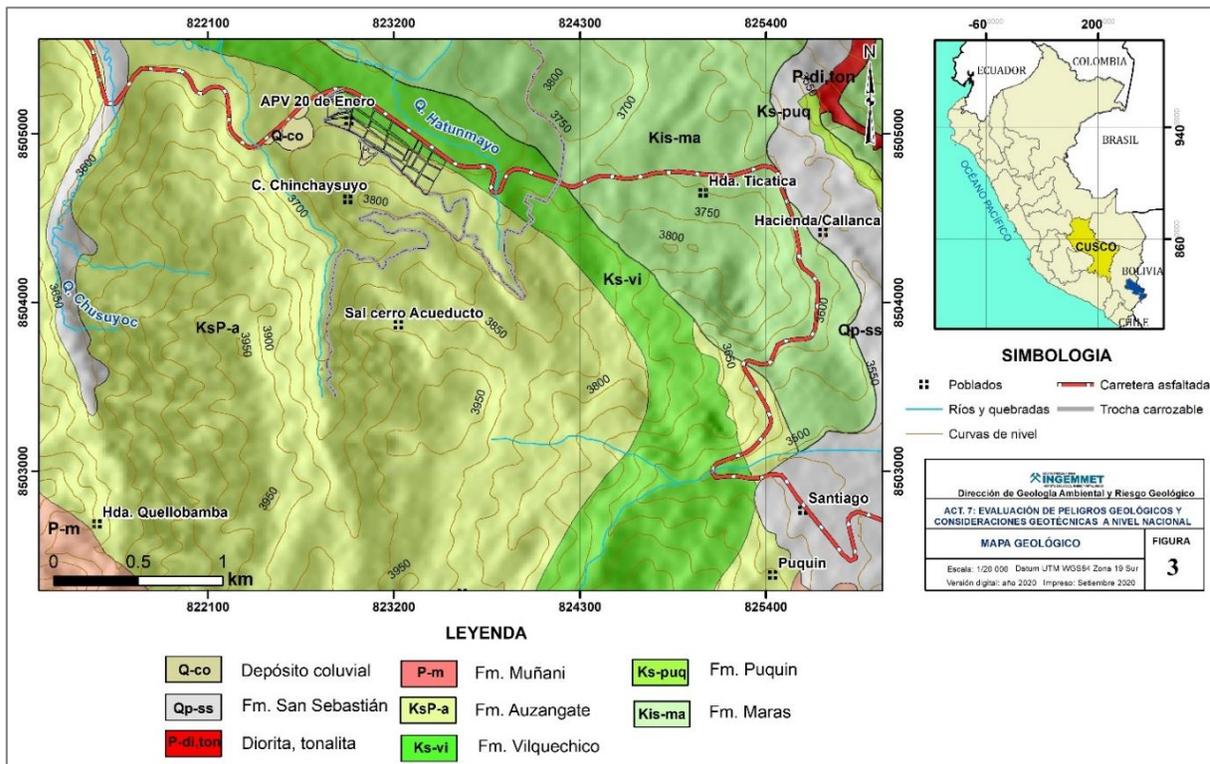


Figura 3. Mapa geológico del sector APV 20 de Enero, distrito de Poroy, provincia y región Cusco.

2.1.1. FORMACIÓN MARAS (Kis-ma)

Esta unidad aflora al norte del distrito de Poroy, específicamente en los cerros de Rumiorjo y Huarahuaylla pasando por las quebradas Pacahurpata y Jahuarmaqui. (Carlotto et al., 1996), compuesta por una mezcla caótica de yesos, lutitas rojas y algunos cuerpos de calizas, por efecto de diapirismo.

2.1.2. FORMACIÓN VILQUECHICO (Ks-vi)

Aflora en el extremo noreste de Poroy y oeste de la ciudad del Cusco. También se observó al noroeste del poblado de Chacaro. Litológicamente está compuesto por niveles de areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color gris blanquecino intercaladas con areniscas medianamente fracturadas de color rojo violáceo y con niveles pelíticos carbonosos de coloración oscura.

2.1.3. FORMACIÓN AUSANGATE (KsP-a)

Aflora en el extremo sur de Poroy, al oeste de la ciudad del Cusco y en las inmediaciones de Carhuis y Chacaro. Está conformado por lutitas y margas rojas ladrillo con intercalaciones delgadas de yeso de medios lacustres y arenas fluviales fuertemente fracturadas y medianamente meteorizadas hacia la parte superior (fotografía 1), con presencia de carofitas



Fotografía 1. Vista al SO de Poroy, areniscas fuertemente fracturadas y medianamente meteorizadas de la Formación Ausangate.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente es un parámetro importante en la evaluación de procesos por movimientos en masa, actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la figura 4, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a información del modelo de elevación digital de 12 m de resolución (USGS), donde se presentan con mayor predominio laderas y estribaciones con inclinación de pendientes comprendidas entre 10° a 45°, consideradas de media a muy fuerte pendiente, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material suelto disponible en las laderas.

Por otro lado, se evidencian pendientes menores a 5° a lo largo del río Hatunmayo.

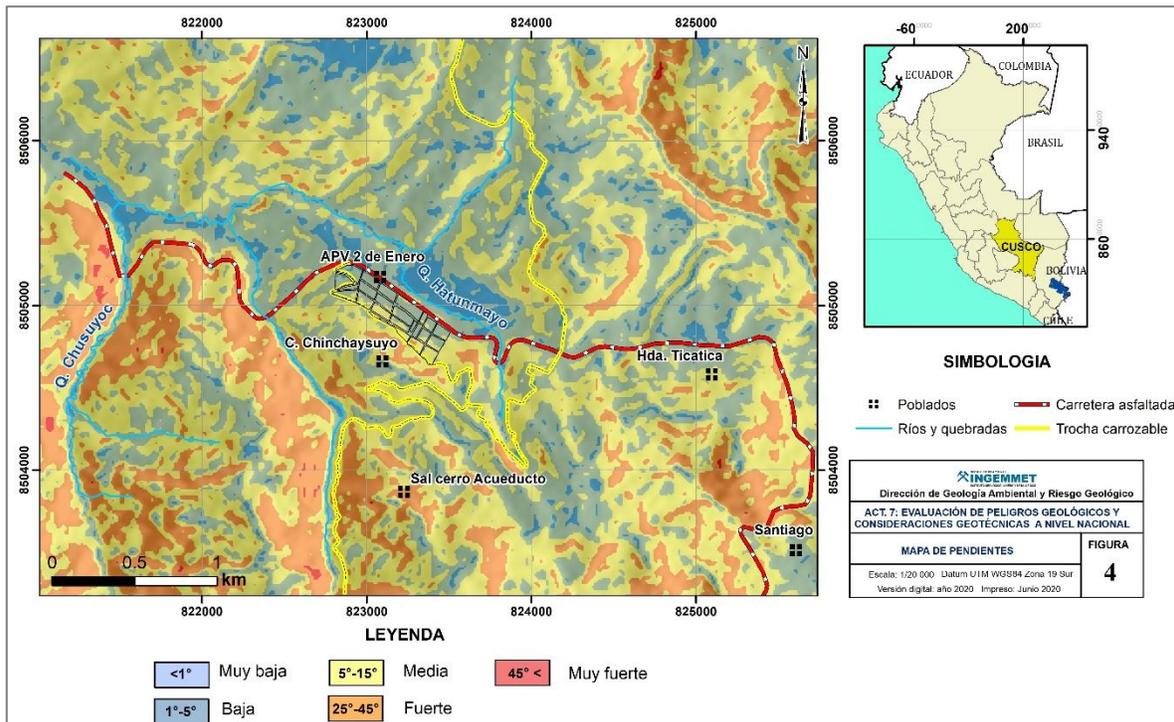


Figura 4. Mapa de pendientes del sector APV 20 de Enero, distrito de Poroy, provincia y región Cusco.

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve en relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez, et al., 2019).

3.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Están representadas por las formas de terreno, como resultado de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geoformas preexistentes:

3.2.1.1. 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 conforma y los procesos que han originado su forma actual.

Subunidad de montañas en rocas sedimentarias (RM-rs): representada por laderas de montañas sedimentarias con algunos alineamientos producto de las secuencias estratigráficas y fallas geológicas, caracterizado por una topografía accidentada, de cimas redondeadas (fotografía 2) y pendientes que van de moderada ($15^\circ - 25^\circ$) a fuerte ($25^\circ - 45^\circ$).



Fotografía 2. Vista al NE de la subunidad de montañas modeladas en rocas sedimentarias.

3.2.1.2. Unidad de colinas y lomadas

Subunidad geomorfológica asociada a rocas sedimentarias que han sufrido una intensa denudación (areniscas, conglomerados, limolitas) de las formaciones Ausangate y Vilquechico. Su morfología es suave, de cimas amplias, redondeadas y alargadas con desniveles menores a 300 m (fotografía 3). Debido a sus características litológicas, esta

subunidad es susceptible a derrumbes y deslizamientos en zonas donde intervino la actividad antrópica.



Fotografía 3. Vista al SE de la subunidad de lomada modelada en rocas sedimentarias del cerro Roquelloccata.

3.2.2. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEPOSITACIONAL Y AGRADACIONAL

Están representadas por formas de terreno como resultado de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosiónales que afectan las geoformas anteriores, aquí se tiene:

3.2.2.1. Subunidad de vertiente con depósito de deslizamiento

Corresponde a las acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa 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, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación a la zona de arranque o despegue del movimiento en masa (figura 5).



Figura 5. Vista de depósito de deslizamiento en la ladera noroeste del cerro Roquelloccata.

3.2.2.2. Subunidad de vertiente coluvio-deluvial

Son depósitos inconsolidados, localizados al pie de las laderas, resultantes de la acumulación de material caído desde las partes altas, por acción de la gravedad, también por flujos de detritos no canalizados (fotografía 4).



Fotografía 4. Depósito coluvio - deluvial en la ladera noroeste del cerro Roquelloccata.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS Y/O GEOHIDROLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada, corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamientos y caídas (derrumbes) (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.

Estos movimientos en masa, tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos, como son la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, el drenaje superficial – subterráneo y la cobertura vegetal. Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la zona, así como la sismicidad.

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

Estudios anteriores realizados en el distrito de Poroy y alrededores han identificado procesos por movimientos en masa, antiguos y activos, representados por flujos, deslizamientos y derrumbes. Además, se identificaron peligros geohidrológicos como erosión fluvial e inundación en las riberas del riachuelo Poroy y tributarios, teniendo como límite la línea férrea.

4.2. Descripción del evento: “Deslizamiento del cerro Roquellocata”.

Evento localizado en la ladera noreste del cerro Roquellocata – APV 20 de Enero, a 4,6 km de Poroy. El 16 de febrero, producto de las lluvias intensas, en dicha ladera se reactivó un deslizamiento (figura 6), donde el escarpe de forma continua (figura 7), presenta 1 m de salto en la parte central y 50 cm en los flancos (fotografía 5). El evento afectó 30 familias y un tramo carretero de 80 m aproximadamente.

Por lo observado en las imágenes satelitales se puede indicar que, desde el año 2015 se evidencia asentamiento lento del terreno, ello a partir de la intervención antrópica (cortes de talud para la construcción de viviendas), con eventuales derrumbes que no involucraban grandes volúmenes de material. Cabe mencionar que antes de la fecha referida la ladera se mantuvo estable.

La inspección realizada en día 18 de setiembre, permitió identificar agrietamientos longitudinales continuos en la ladera noroeste del cerro Roquellocata, con aperturas comprendidas entre 30 a 50 cm y con profundidades de 10 a 60 cm (fotografía 6). Así mismo, a media ladera se observó un derrumbe que afectó una vivienda (fotografía 7).

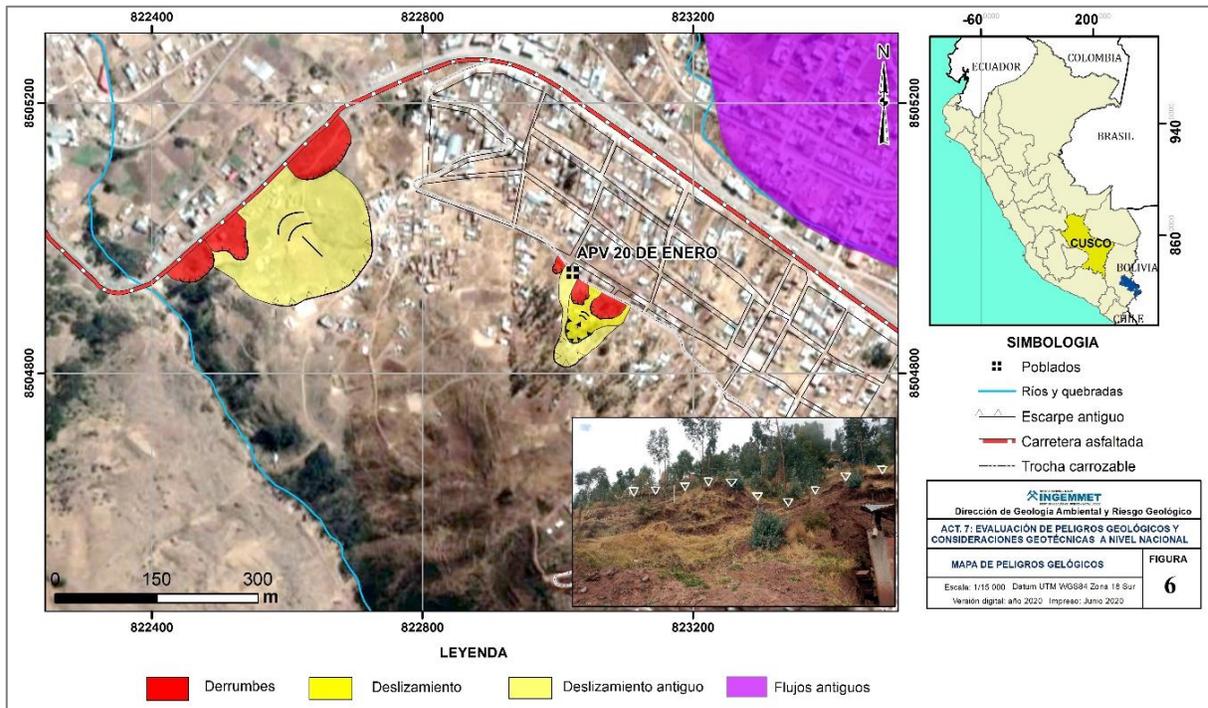


Figura 6. Mapa de peligros geológicos del sector APV 20 de Enero, distrito de Poroy, provincia y región Cusco.

4.2.1. CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

El día 16 de febrero del 2020 se reactivó la ladera noreste del cerro Roquelloccata, cuyo material está conformado principalmente por clastos y bloques de roca sedimentaria, con una fracción de material fino de naturaleza areno - arcillosa.

El deslizamiento tiene las siguientes características y dimensiones:

- Ancho promedio de la zona de arranque: 15 m
- Forma de escarpe: continua
- Forma de la superficie de rotura: cóncava (en formación)
- Dirección (azimut) del movimiento: N 110°
- Presencia de hasta 2 familias de fracturas (medidas en un sector cercano al deslizamiento pero que pertenece al mismo afloramiento).



Figura 7. Escarpe de deslizamiento reactivado, de forma continua y 1 m de salto en la ladera noroeste del cerro Roquelloccata.



Fotografía 5. Escarpe de deslizamiento en la ladera media del cerro Roquelloccata, con 30 cm de salto. Fuente: Municipalidad distrital de Poroy.



Fotografía 6. Vista de agrietamiento longitudinal en el terreno, con aperturas comprendidas entre 10 a 30 cm.



Fotografía 7. Vivienda colapsada producto de la reactivación de la ladera noreste del cerro Roquelloccata en derrumbe.

Es importante mencionar que, la ladera noroeste del cerro Roquelloccata continúa asentándose (figura 8a), con desplazamientos continuos de hasta 55 cm y árboles removidos desde su raíz (figura 8b), muestra de ello, son las fisuras que presentan las paredes de las viviendas (figura 9).



Figura 8. a) Asentamiento del terreno, con 55 cm de desplazamiento. b) Árboles inclinados a favor de la pendiente y removidos desde su raíz.



Figura 9. Producto del asentamiento del terreno se observó viviendas con paredes agrietadas.

En la ladera del cerro Roquelloccata se observó un canal de drenaje sin revestir, realizado de forma artesanal por los pobladores. De mantenerse el canal sin revestimiento, con el tiempo el agua infiltrará a lo largo del canal, ello contribuirá con las futuras reactivaciones del deslizamiento.

Por otro lado, en los cortes de talud realizado para la construcción de viviendas, se observó surgencia de agua (figura 10), lo cual podría acelerar el proceso de reactivación.



Figura 10. a, b) Surgencias de agua en los cortes de talud, realizado para la construcción de viviendas del sector APV 20 de Enero.

4.2.2. FACTORES CONDICIONANTES

- Presencia de material de fácil remoción, conformado por arenas, limos y arcillas.
- Substrato rocoso con alto grado de meteorización y fracturamiento; ello permite mayor filtración y retención de agua, el cual lo hace inestable.
- Laderas con pendientes de 25° del cerro Roquelloccata, permite que el material suelto disponible se erosione y remueva fácilmente pendiente abajo.
- Acción de las aguas de escorrentía y presencia de manantiales.
- Deforestación de árboles.
- Cortes de talud para la construcción de viviendas.

4.2.3. FACTORES DETONANTES O DESENCADENANTES

- El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento, fueron las precipitaciones intensas registradas en el mes de febrero.

4.2.4. DAÑOS O EFECTOS SECUNDARIO

El deslizamiento del 16 de febrero del presente, en la ladera noreste del cerro Roquelloccata – APV 20 de Enero, afectó:

- 46 viviendas
- 80 m aproximadamente de camino carrozable

5. CONCLUSIONES

- a) Debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y geodinámicas que presenta la ladera noreste del cerro Roquelloccata – APV 20 de Enero, es considerado como zona de **peligro alto** a movimientos en masa.
- b) Los peligros geológicos por movimientos en masa identificados en el cerro Roquelloccata - APV 20 de Enero están condicionados por:
- Presencia de material de fácil remoción, conformado por arenas, limos y arcillas.
 - Substrato rocoso con alto grado de meteorización y fracturamiento; ello permite mayor filtración y retención de agua, el cual lo hace inestable.
 - Laderas con pendientes de 25° del cerro Roquelloccata, permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo.
 - Acción de las aguas de escorrentía y presencia de manantiales.
 - Deforestación indiscriminada de árboles.
 - Cortes de talud para la construcción de viviendas.

El factor desencadenante para la reactivación del deslizamiento, fueron las lluvias intensas registradas en el mes de febrero.

6. RECOMENDACIONES

A corto plazo:

1. Se recomienda reubicar las viviendas del sector APV 20 de Enero, por encontrarse en zona de peligro alto a movimientos en masa.
2. De manera inmediata alertar a la población sobre el peligro latente que representa los agrietamientos, derrumbes y reactivación del deslizamiento en la ladera noroeste del cerro Roquellocata – APV 20 de Enero.
3. Realizar un monitoreo visual y constante sobre el estado de avance y el crecimiento de apertura de los agrietamientos.
4. Prohibir y/o evitar el paso peatonal en la ladera noroeste del cerro Roquellocata - APV 20 de Enero.
5. Prohibir la tala de árboles en el cerro Roquellocata y alrededores.

A largo plazo:

6. Realizar estudios geofísicos en el cerro Roquellocata para conocer los niveles freáticos.
7. Construir muro de sostenimiento en el tramo de la carretera carrozable del sector APV 20 de Enero (posible zona a ser afectada por la reactivación del deslizamiento).
8. Implementar sistemas de drenaje superficial y subdrenaje en la ladera noreste del cerro Roquellocata, mediante zanjas de coronación y subdrenes de zanja o galerías de drenaje respectivamente. El sistema de recolección de aguas superficiales debe interceptar y conducir adecuadamente las aguas de lluvia y evitar su paso por el talud; mientras, el subdrenaje reducirá las presiones intersticiales.


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


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

7. BIBLIOGRAFÍA

- Carlotto, V., Cardénas, J. y Carlier, G. (2011) - Geología del Cuadrángulo de Cusco 28-s - 1:50 000 INGEMMET, Boletín, Serie A: 138, 258p., 6 mapas.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996) - Landslides types and processes, en Turner, K., y Schuster, R.L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washintong D. C, National Academy Press, Transportati3n researchs board Special Report 247, p. 36-75.
- González, L.; Ferrer, M.; Ortuño, L. & Oteo, C., eds. (2002) - Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, 732 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4.
- Suárez, J. (1998) - Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, Universidad Industrial de Santander, 548 p.
- Vílchez, M.; Sosa, N.; Pari, W. & Peña, F. (2020) - Peligro geológico en la región Cusco. INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 74, 155 p.

ANEXO 2: GLOSARIO

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

AGRIETAMIENTO (cracking) Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

CORONA (crown) Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento ladera abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semiparalelas conocidas como grietas de tensión o de tracción.

DERRUMBE (landslide) Término común para referirse a diversos tipos de movimientos en masa, particularmente caídas y deslizamientos. En Perú se utiliza este término para diferenciar un tipo de caída.

DESLIZAMIENTO (slide) Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de zonas relativamente delgadas con gran deformación cortante (Cruden y Varnes, 1996).

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

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

LADERA (natural slope) Superficie natural inclinada de un terreno.

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

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide) sin.: Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

NIVEL FREÁTICO (wáter) Es el límite superior de la zona de saturación o zona saturada, es una característica muy importante del sistema de aguas subterráneas (Co). Nivel del agua subterránea para el cual la presión es igual a la presión atmosférica.

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

A. CORRECCIÓN POR DRENAJE

Unas de las técnicas más efectivas para la estabilización de laderas y taludes es el control de las aguas superficiales y subterráneas (cuadro 3). Su objetivo es controlar el agua y sus efectos, disminuyendo las fuerzas que producen el movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. El drenaje y el subdrenaje generalmente son poco costosos y muy efectivos como medidas de prevención de los movimientos.

Cuadro 3. Métodos de drenaje y subdrenaje

Método	Ventajas	Desventajas
Canales superficiales para el control de escorrentía	Se recomienda construirlos como obra complementaria en la mayoría de los casos. Generalmente, las zanjas se construyen arriba de la corona del talud	Se deben construir estructuras para la entrega de las aguas y la disipación de energía.
Subdrenes de zanja	Muy efectivos para estabilizar deslizamientos poco profundos, en suelos saturados subsuperficialmente.	Poco efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos o los deslizamientos con nivel freático profundo
Subdrenes horizontales de penetración	Muy efectivos para interceptar y controlar las aguas subterráneas relativamente profundas.	Se requieren equipos especiales de perforación y su costo puede ser alto.
Galerías o túneles de subdrenaje	Efectivos para estabilizar los deslizamientos profundos en las formaciones con permeabilidad significativa y aguas subterráneas.	Muy costosos y complejos de construir
Pozos profundos de subdrenaje	Útiles en los deslizamientos profundos con aguas subterráneas. Efectivos para las excavaciones no permanentes.	Su uso es limitado debido a la necesidad de operación y mantenimiento permanente.

Fuente: Suárez, 1996.

Los sistemas más comunes para el control del agua son: •

- Zanjas de coronación o canales colectores drenaje superficial).
- Subdrenes de zanja o subdrenes interceptores. •
- Subdrenes horizontales o de penetración

Drenaje superficial: El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

Tipos de obra de drenaje superficial

- a. **Canales para redireccionar el agua de escorrentía:** Se debe impedir que el agua de escorrentía se dirija hacia la zona inestable.
- b. **Zanjas de corona.** Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe.
- c. **Diques en la corona del talud.** Son diques en relleno, colocados arriba de la corona, con el objeto de desviar hacia los lados las aguas de escorrentía.
- d. **Drenes Franceses.** Son zanjas rellenas de material granular grueso que tienen por objetivo captar y conducir las aguas de escorrentía.
- e. **Trinchos o Cortacorrientes.** Consisten en diques a través del talud para desviar lateralmente, las aguas de escorrentía.
- f. **Torrenteras.** Son estructuras que recogen las aguas de los canales, diques o cortacorrientes y las conducen hacia abajo del talud. Generalmente, incluyen elementos para disipar la energía del flujo del agua.
- g. **Sellado de grietas con arcilla o mortero.** El objeto es impedir la infiltración de agua hacia el deslizamiento.
- h. **Canales colectores en Espina de Pescado.** Para disminuir la infiltración de agua en las áreas grandes arriba del talud, se construyen canales colectores en Espina de Pescado, los cuales conducen las aguas colectadas fuera de las áreas vulnerables del talud, entregándolas generalmente a los canales en gradería o torrenteras. Estos canales deben impermeabilizarse adecuadamente para evitar la nuevamente la infiltración del agua

No se recomienda en problemas de taludes, la utilización de conducciones en tubería por la alta susceptibilidad a agrietarse o a taponarse, con lo cual se generan problemas de infiltración masiva concentrada.

Subdrenaje: Las técnicas de drenaje subterráneo o subdrenaje son uno de los métodos más efectivos para la estabilización de los deslizamientos. El drenaje subterráneo tiene por objeto disminuir las presiones de poros o impedir que éstas aumenten (figuras 11 y 12). A menor presión de poros la resistencia del suelo es mayor. El diseño de los sistemas de subdrenaje es complejo debido a que la mayoría de los taludes no son homogéneos desde el punto de vista del drenaje subterráneo y es muy difícil aplicar principios sencillos en el diseño de obras de subdrenaje. El movimiento de las aguas en los taludes por lo general, es irregular y complejo.

Elementos para tener en cuenta en el análisis de los sistemas de subdrenaje:

- Falta de continuidad de los mantos o sectores permeables.
- Cantidad de agua recolectada.
- Poco efecto del subdrenaje en el factor de seguridad.
- Poco efecto del subdrenaje cuando el nivel freático se encuentra muy cercano a la superficie de falla.
- Asentamientos en las áreas circunvecinas como efecto del subdrenaje.
- La rata de flujo para el diseño del sistema debe calcularse teniendo en cuenta la permeabilidad del suelo o la roca que se va a drenar.

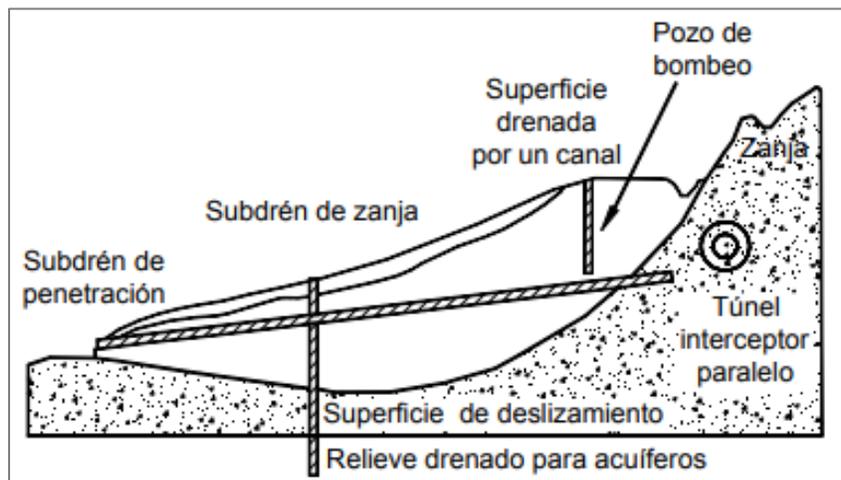


Figura 11 Sistemas de subdrenaje (Suárez, 1998).

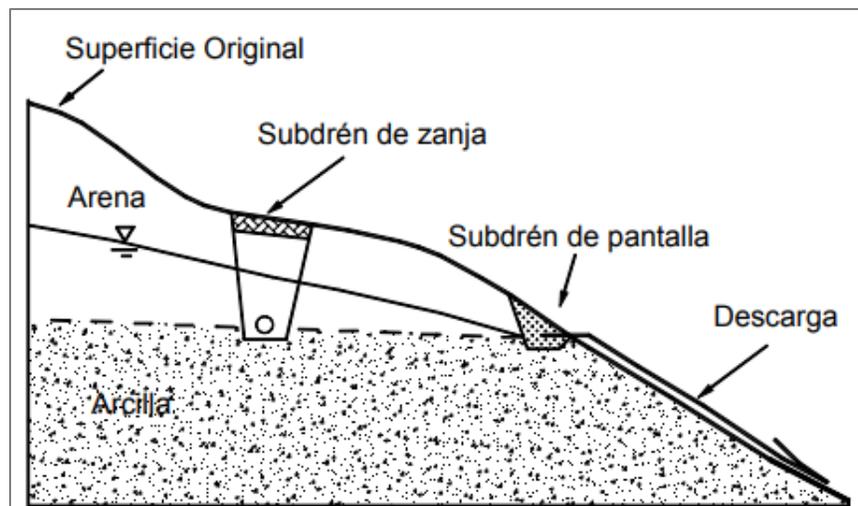


Figura 12 Esquema de un subdrenaje interceptor y un dren en el afloramiento (Suárez, 1998).

A. CORRECCIÓN POR ELEMENTOS RESISTENTES

MUROS RÍGIDOS Son estructuras de contención generalmente de concreto que no permiten deformaciones importantes sin romperse (cuadro 4). Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención. La utilización de muros rígidos es una de las formas más sencillas de manejar cortes y terraplenes. Los muros rígidos actúan como una masa relativamente concentrada que sirve de elemento contenedor de la masa inestable.

Cuadro 4 Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido.

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto reforzado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a ocho metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son poco económicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace poco efectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchapes para mejorar su apariencia exterior	Se requiere una muy buena fundación y no permiten deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado antes de que puedan trabajar efectivamente. Generalmente, son poco económicos para alturas mayores de tres metros.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto. Generalmente, son más económicos que los de concreto simple o reforzado.	Se requiere muy buena fundación. El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes. Se requiere la disponibilidad de bloques de roca.
Concreto ciclópeo con columnas de refuerzo	Combinan las ventajas de economía del concreto ciclópeo con la capacidad de flexión del concreto reforzado	Es muy poca la investigación sobre su comportamiento y no existe una metodología aceptada de diseño
Mampostería o bloques de roca pegados con concreto	Son muy económicos cuando hay disponibilidad de bloques de roca. Son visualmente atractivos	Se requiere muy buena fundación. Resistencia muy baja a la flexión. Son muy vulnerables a los movimientos.

Fuente: Suarez, 1996.

Los muros se emplean frecuentemente como elementos resistentes en taludes (figura 13), tiene por finalidad aumentar la resistencia al corte mediante sistemas más frecuentes como: anclajes formados por cables o barras de acero que se anclan en zonas estables del macizo; trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura.

Una contención solo puede sostener una longitud determinada de deslizamiento ya que en caso contrario el deslizamiento sobrepasa al muro. Cuando quieran sujetarse deslizamientos más largos, debe recurrirse a un sistema de muros o a otros de los procedimientos expuestos. Por todo ello, en taludes con signos evidentes de inestabilidad puede ser más apropiado realizar el muro con objeto de retener un relleno estabilizador.

En desmontes y terraplenes en los que la falta de espacio impone taludes casi verticales, el empleo de muros resulta casi obligado. Este es un caso frecuente en la construcción de vías de transporte. En ocasiones, como en el caso de un desmonte en una ladera, puede resultar más económica la construcción de un muro, frente al coste de sobre excavación requerido si aquel no se realiza. La construcción de un muro es generalmente una operación cara. A pesar de ello, los muros se emplean con frecuencia pues en muchos casos son la única solución viable.

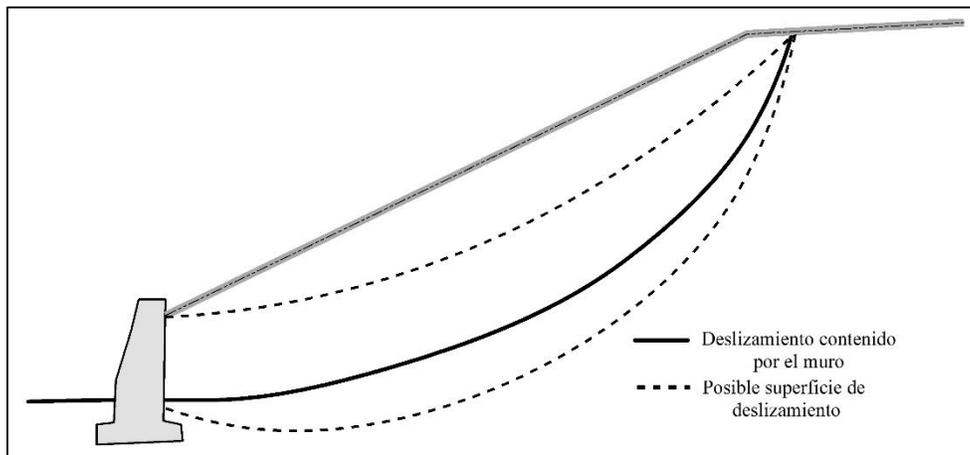


Figura 13 Contención de un deslizamiento mediante un muro.

Los muros se pueden clasificar en tres grupos (figura 14): 1) Muros de sostenimiento, los cuales se construyen separados del terreno natural y se rellenan posteriormente, 2) los muros de contención generalmente van excavados y se construyen para contener un terreno que sería probablemente inestable sin la acción del muro y 3) muros de revestimiento que consiste esencialmente en proteger el terreno de la erosión y meteorización además de proporcionar un peso estabilizador.

Cuando se proyecta un muro deberán determinarse las cargas a las que va a estar sometido y su distribución, lo que permitirá planificar una estructura capaz de resistirlas.

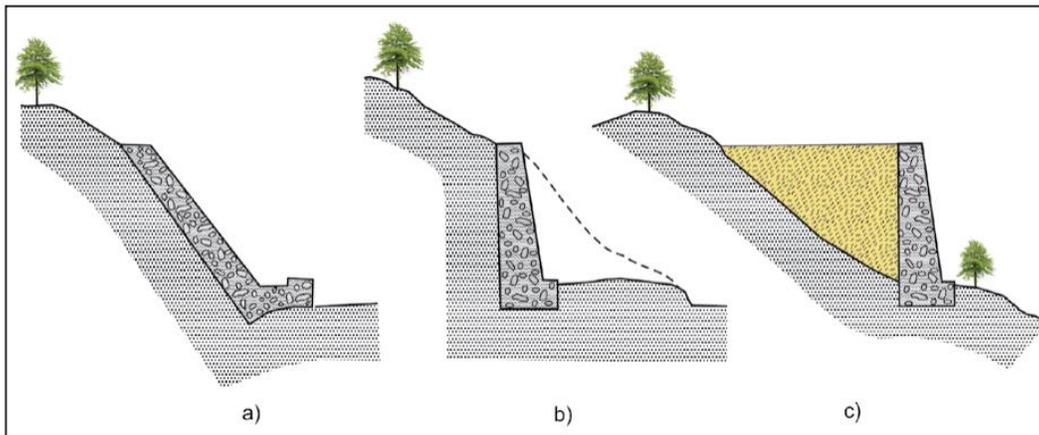


Figura 14. Tipo de muros: a) muro de revestimiento, b) muro de contención, c) muro de sostenimiento.