

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7566

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO DE CALACHOTA

Departamento: Lima
Provincia: Yauyos
Distrito: Allauca



DICIEMBRE
2024

EVALUACIÓN GEOLÓGICA DEL DESLIZAMIENTO DE CALACHOTA
Distrito Allauca, provincia Yauyos, departamento Lima

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

Equipo Técnico:

Gabino Fabrizio Delgado Madera

Guisela Choquenaira Garate

Referencia bibliográfica

Delgado, F. & Choquenaira, G. (2024). Evaluación geológica del deslizamiento de Calachota, distrito Allauca, provincia Yauyos, departamento Lima. Lima: INGEMMET, Informe Técnico N° A7566, 38p.

INDICE

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	5
1. ANTECEDENTES	5
2. ASPECTOS GENERALES:	6
3. CONTEXTO GEOLÓGICO - GEOMORFOLÓGICO	7
3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO:	7
3.1.1. Formación Tantará (Pe-t/i4)	7
3.1.2. Depósitos aluviales (Qp-al)	8
3.1.3. Depósitos Coluviales (Qh-co)	8
3.1.5. Depósitos fluviales (Qh-fl)	8
3.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO:	9
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	10
4.1. Deslizamiento de Calachota	10
4.2. Erosión fluvial:	22
5. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES	22
6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	22
6.1. DRENAJE SUPERFICIAL	23
6.2. DRENAJE SUBTERRÁNEO	27
6.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN:	33
7. CONCLUSIONES	35
8. RECOMENDACIONES	36
9. REFERENCIAS	38

RESUMEN

El presente informe es el resultado de la evaluación de peligros geológicos realizada en el sector Calachota, distrito Allauca, provincia Yauyos y departamento Lima. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – INGEMMET, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos en los tres niveles de gobierno (local, regional y nacional).

La zona de estudio se encuentra entre las altitudes 2000 m s.n.m. y 1700 m s.n.m. con temperaturas promedio anuales promedio de 16°C y presenta lluvias estacionales entre los meses de enero a marzo.

En cuanto al contexto geomorfológico, en la zona de estudio destacan montañas y el valle formado por el río Cañete, las pendientes del terreno varían entre fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°).

Geológicamente, se identifican rocas vulcanosedimentarias del Paleógeno (Formación Tantara) compuestas por tobas líticas color gris oscuro y tobas de cristales moderadamente soldadas, que presentan un grado de meteorización A1 y un grado de fracturamiento F4. También afloran rocas del Batolito de la Costa de la Super Unidad Catahuasi, que corresponden a cuerpos de granodiorita-tonalita y monzogranito. El substrato está cubierto por depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y fluviales.

En Calachota se identificó un deslizamiento en proceso de reactivación, y también procesos de erosión fluvial. En la cabecera del deslizamiento se evidenció que la reactivación presenta una corona con longitud de 200 m, con desniveles de hasta 50 cm y aperturas de 40 cm; la dirección predominante del movimiento es N 110°. Hacia el cuerpo del deslizamiento se observaron agrietamientos en el terreno y vía asfaltada, con presencia de desniveles producto de la deformación y evolución del deslizamiento. También se encuentra afectado una institución educativa.

Los factores que condicionan la reactivación de estos procesos son tipo de litología y pendiente del terreno, que genera inestabilidad en el escarpe y del cuerpo del deslizamiento. Como factor detonante se considera al agua proveniente de las lluvias y el riego excesivo por gravedad. Por otro lado, influyen los sismos y el factor antrópico debido a los cortes de talud para las carreteras.

De acuerdo a la evaluación se concluye que, el deslizamiento de Calachota es activo y el poblado del mismo nombre por encontrarse emplazado en la base de este evento se encuentra en **peligro alto a muy alto**. Por tal motivo, de seguir el movimiento del deslizamiento se recomienda reubicar a toda la población del poblado de Calachota, incluyendo la institución educativa San Antonio de Quiriman. Esto con la finalidad de salvaguardar la vida.

Por otro lado, se plantean recomendaciones enfocadas en controlar el agua, debido a que es el principal factor detonante, para ello se deberá utilizar diferentes sistemas enfocados al control del agua, disminuyendo las fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. Se recomienda que los diseños y ejecuciones de las obras, deben de ser realizadas por personal especializado.

1. INTRODUCCIÓN

Los deslizamientos son fenómenos geológicos que en el mundo causan pérdidas económicas significativas, también representan un riesgo para la vida de las poblaciones (*Froude and Petley, 2018*). A lo largo de la cordillera de los Andes se identificaron y cartografiaron deslizamientos activos y antiguos (*Geocatmin, Delgado et al., 2022*), asimismo se identificaron zonas de riesgo. Entre los lugares con presencia de deslizamientos se encuentra la provincia de Yauyos - Lima.

El INGEMMET, ente técnico-científico desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), el “Servicio de Asistencia Técnica en la Evaluación de Peligros Geológicos a Nivel Nacional (ACT. 16)”, contribuyendo así 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

En ese entender el alcalde de la Municipalidad Provincial de Yauyos, mediante Oficio N° 128- 2024-MDA-ALC, solicitó la Evaluación Geológica Geodinámica de deslizamiento en el distrito de Allauca, provincia de Yauyos, Región Lima. El INGEMMET, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico – DGAR, comisionó a los ingenieros geólogos Gabino Fabrizio Delgado Madera y Guisela Choquenaira Garate, especialistas en movimientos en masa, para realizar la evaluación ingeniero – geológica del área. Los trabajos se realizaron del 19 al 20 de septiembre del presente año, previa coordinación con personal de la municipalidad local. En dicha evaluación se contó con la participación de los Sres. Marcelo Barraza Laredo, Juan Romero Contreras y el Sr. Gilber Tadeo Sarmiento (Agente municipal de Quiriman).

El presente informe contiene documentación obtenida en campo y revisión de información geológica y cartográfica (boletines técnicos, topografía e imágenes satelitales) que permitieron la evaluación del deslizamiento de Calachota, y su influencia en la población e infraestructura. Este documento técnico se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Allauca, la Municipalidad Provincial de Yauyos e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – SINAGERD, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1. ANTECEDENTES

Como antecedente de la zona a evaluar se tiene el estudio realizado por Ingemmet el año 2023, donde indica que el sector de Calachota presenta como tipos de peligro erosión de laderas, flujo de detritos, erosión fluvial, caída de rocas y derrumbe. En este lugar describe que litológicamente se observan depósitos proluvio-aluviales constituidos por bloques y fragmentos heterométricos, redondeados a subredondeados en matriz areno limosa. transportados por la corriente de los ríos y flujo, rocas intrusivas (granodiorita y tonalita) de la Súper Unidad Catahuasi y rocas volcanosedimentarias, como tobas, de la Fm. Tantará. Geomorfológicamente,

se asienta sobre piedemonte aluvio-torrencial mientras que a los alrededores se observa montaña en roca intrusiva y montaña en roca volcanosedimentaria.

El poblado de Calachota se asienta sobre un abanico proluvio-aluvial antiguo proveniente de la quebrada Aucampi, afluente a la margen derecha del río Cañete y colmatada, el depósito presenta bloques con diámetro de hasta 3 m. Área sujeta a erosión en cárcavas que se caracteriza por presentar ancho hasta 15 m, badlands y derrumbes al pie del cerro Andahuasi. La erosión fluvial del río Cañete socava laderas de los cerros y carretera Calachota-Antamata.

2. ASPECTOS GENERALES:

El deslizamiento de Calachota de ubica en la margen derecha del río Cañete, en el distrito de Allauca, provincia Yauyos, departamento Lima (Figura 1). Las coordenadas UTM (WGS84) son: 8603535 N, 393386E; Zona 18L.

Para llegar a esta zona de estudio se accede desde Lima, a través de la carretera Panamericana Sur, hasta llegar a Cañete, para luego tomar carretera asfaltada que lleva hasta el poblado de Calachota.

La zona de estudio presenta alturas que varían entre los 2000 m s.n.m. y los 1700 m s.n.m. El poblado se Calachota se ubica en el valle del río Cañete. La temperatura máxima media es 16°C, la temperatura mínima media es 4°C; presenta lluvias intensas entre los meses de enero a marzo.

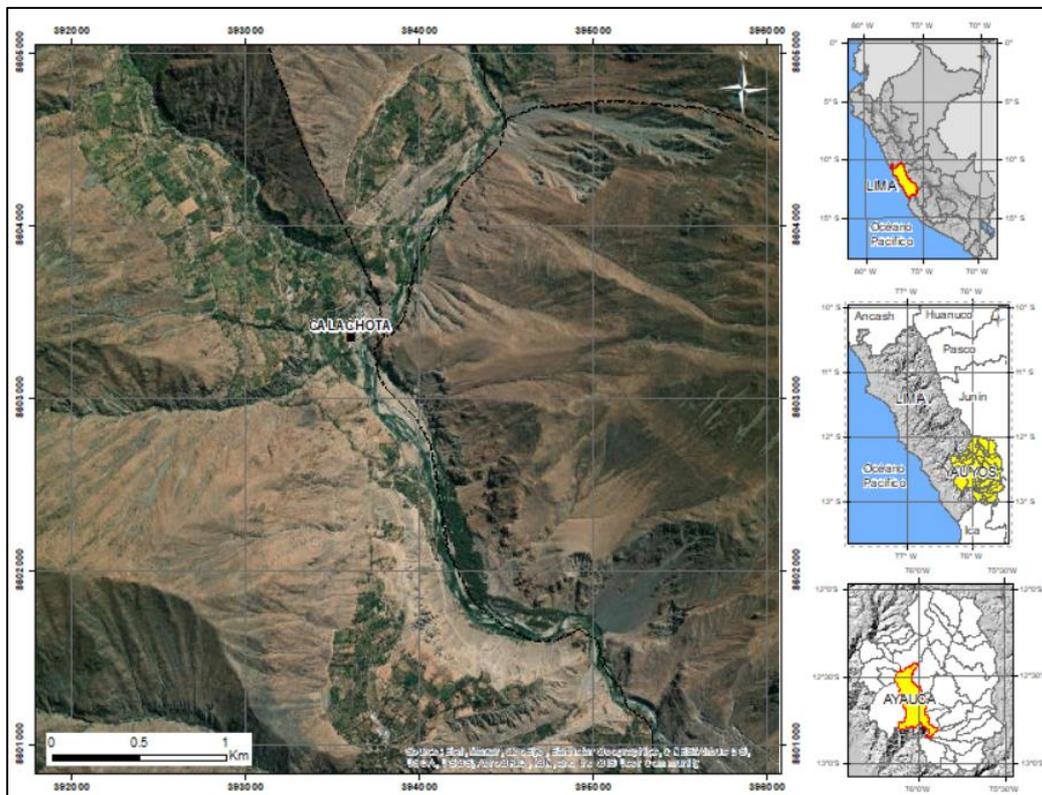


Figura 1. Ubicación del lugar de estudio, en el centro poblado de Calachota.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO - GEOMORFOLÓGICO

3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO:

En el área evaluada afloran las siguientes unidades estratigráficas (Figura 2):

3.1.1. **Formación Tantar** (**Pe-t/i4**): Corresponde a una gruesa secuencia volcánica que yace con discordancia angular sobre las unidades del mesozoico. En la zona de estudio, se evidencia el miembro inferior de esta formación, como rocas vulcanosedimentarias compuestas por tobas líticas color gris oscuro y tobas de cristales moderadamente soldadas, afloran en la margen izquierda del río Cañete. Esta formación se encuentra ligeramente meteorizada (A1) donde se observa decoloración en la roca y en superficie de discontinuidades (fracturas), por otro lado, esta formación se encuentra muy fracturada (F4) esto se da debido a la deformación producto de la tectónica.

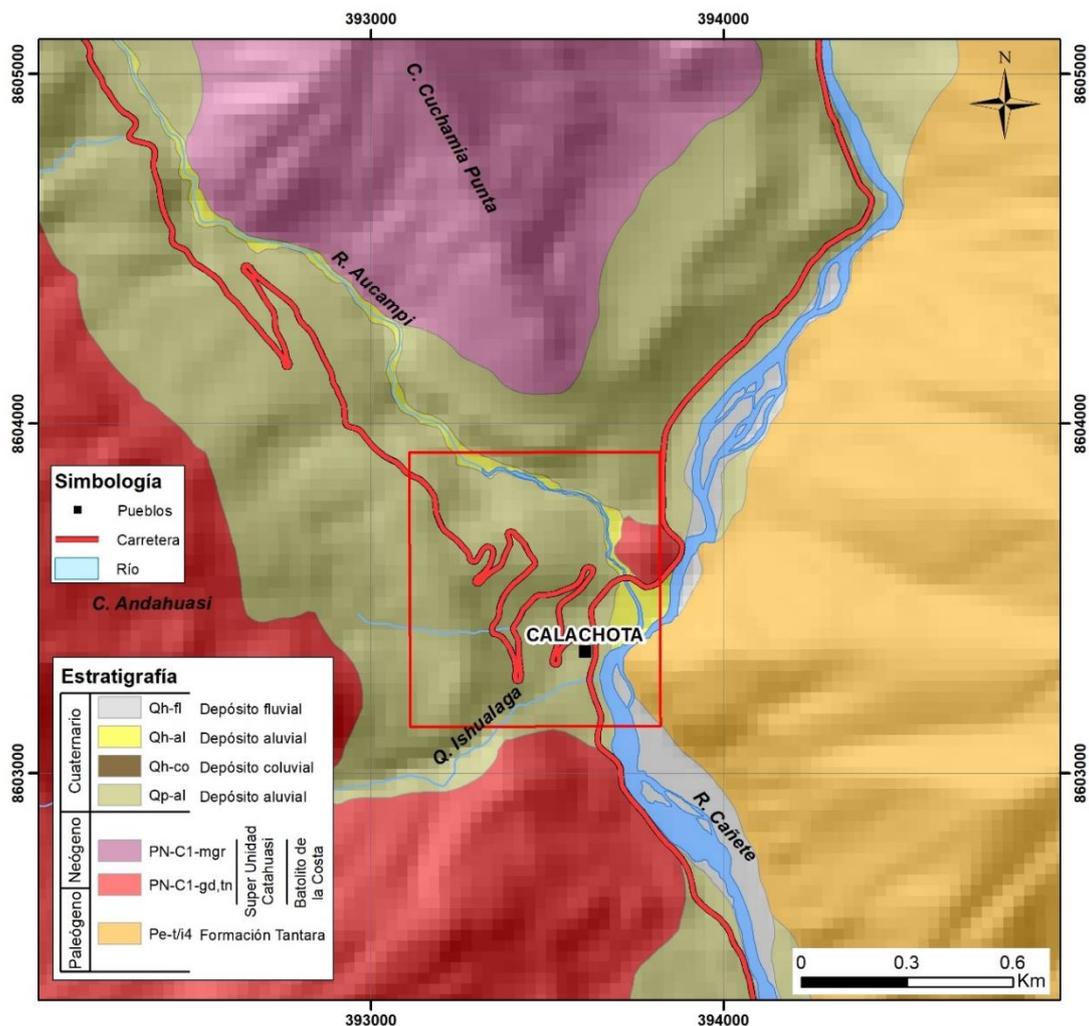


Figura 3. Mapa de las unidades estratigráficas del área de estudio. El cuadro rojo delimita la zona de estudio, el cual corresponde a depósitos aluviales del pleistoceno.

- 3.1.2. **Depósitos aluviales (Qp-al):** Corresponde a depósitos inconsolidados constituidos por fragmentos heterométricos de gravas, bolones, gravilla y arenas, de formas subredondeados a subangulosos dispuestos en una matriz areno limosa y arcillosa, transportados por las corrientes de los ríos (Fotografía 1). Actualmente quedan evidencias de terrazas aluviales, donde se emplazan los poblados y terrenos de cultivo. Estos depósitos representan zonas de secuencias incompetente que ofrecen poca resistencia a la erosión y que son susceptibles a generar movimientos en masa.



Fotografía 1. Secuencia de depósitos aluviales pleistocenos.

- 3.1.3. **Depósitos coluviales (Qh-co):** Son depósitos de talud, producto de la descomposición y disgregación físico – mecánica del suelo, se componen de bloques de roca sueltos subangulosos a angulosos y gravas mal seleccionadas, con escasa matriz (areno – limosa), sin consolidación, tienen poca resistencia en seco y son altamente permeables.
- 3.1.4. **Depósitos aluviales (Qh-al):** Corresponden a depósitos recientes, los cuales presentan fragmentos de rocas redondeadas a subredondeadas y se depositan en forma de abanicos aluviales en el fondo del valle.
- 3.1.5. **Depósitos fluviales (Qh-fl):** Corresponden a depósitos que se ubican sobre el cauce del río Cañete, conformado por bloques, gravas, arenas y limos. Estos depósitos son aprovechados como agregados, y están siendo explotados como materiales para obras civiles.

Batolito de la Costa

Super Unidad Catahuasi

Cobbing et. al., (1984) han denominado así a la sucesión de intrusivos que afloran a ambos lados del río Cañete entre Canta Gallo en la parte meridional y la hacienda Yaca en su extremo septentrional y cuyo nombre proviene del pueblo de Catahuasi; el plutón principal está constituido por la tonalita-granodiorita Catahuasi-Capillucas.

En la zona de estudio afloran los cuerpos de granodiorita-tonalita y monzogranito que se encuentran ubicados en la margen derecha del río cañete, estos se encuentran muy fracturados (F4).

Una datación Rb-Sr en tonalitas y monzogranitos dan edades de 24 1 M.A. (Beckinsale et. al., 1985) la cual sugiere que se emplazaron en el Oligoceno tardío a Mioceno temprano (27 a 20 millones de años).

3.2. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO:

En la zona de estudio se reconocen las siguientes unidades geomorfológicas:

1) Montañas, sub-unidad *Montaña en Roca Volcánica (RM-rv)*, el área de estudio se encuentra rodeado de montañas compuesta de rocas volcánicas, con pendientes del terreno muy fuertes o escarpadas mayores a 25°.

2) Piedemonte, sub-unidad *Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd)*, en el área de estudio se encuentra en los flancos del río Cañete, están compuesto por la acumulación de depósitos coluviales y deluviales.

3) Fondo de Valle, donde se ubica el cauce del río Cañete, este se ubica en el fondo de un valle Cañete que tiene un perfil típico en "V" (valle joven), se encuentra rodeado de montañas volcánicas. El centro poblado de Calachota se encuentra emplazado en el piso del valle en el flanco derecho del río Cañete. También se observa un valle secundario formado por el río Aucampi.

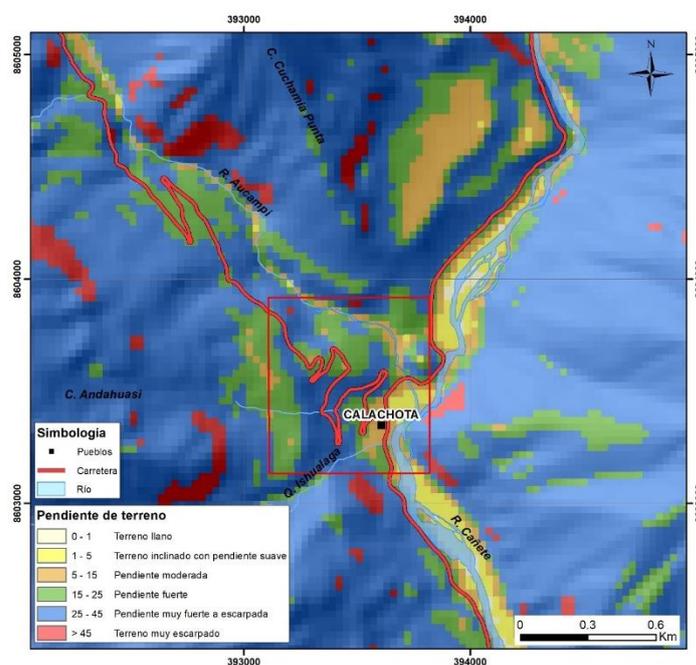


Figura 2. Distribución de pendientes en el área; el cuadro rojo delimita la zona de estudio, correspondiente al deslizamiento de Calachota.

El mapa de pendientes muestra que la zona de estudio (Cuadro rojo, Figura 2) ubicada en el flanco derecho del río Cañete presenta pendientes del terreno entre fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°). El centro poblado de Calachota se encuentra en el fondo del valle del río Cañete donde la pendiente de terreno es baja (1° - 5°). A los alrededores de la zona de estudio las pendientes son muy fuertes o escarpadas (25° - 45°), estos corresponden a los flancos del valle (Figura 2).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Para la descripción de los peligros geológicos identificados en la zona de Calachota se ha tomado como base la clasificación de Varnes (1978) y Cruden y Varnes (1996) y la terminología sobre Movimientos en Masa en la región Andina preparado por el Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007). Estos corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional y erosión fluvial (Figura 4).

4.1. Deslizamiento de Calachota.

El deslizamiento de Calachota se ubica en el flanco derecho de la confluencia de los ríos Cañete y Aucampi. Actualmente el evento se encuentra activo y afecta terrenos de cultivo, la institución educativa San Antonio de Quirimán y la carretera asfaltada que une con el centro poblado de Allauca.

El escarpe principal se encuentra a 1920 m s.n.m. y tiene ~ 480 m de ancho y el pie del deslizamiento se encuentra en el poblado de Calachota a 1720 m s.n.m., haciendo un desnivel de 200 metros y tiene una longitud de ~ 450 m (Figura 4).

Se observa reactivaciones y agrietamientos en el escarpe del deslizamiento. Hacia el flanco izquierdo del deslizamiento (Cord.: 393184; 8603759) se presentan agrietamientos que afectan la carretera (Figura 5), con una dirección preferente N 20° y una apertura de 2 cm en las grietas. La dirección de movimiento del terreno es N 110° . Hacia la parte central (Cord.: 393182; 8603693) se observa desniveles o saltos producto del movimiento del terreno, estos desniveles (escarpes) tienen una dirección preferente N 20° , presentan un desnivel de 50 cm y afectan terrenos de cultivo (Figura 6), la dirección del movimiento del terreno es N 110° .

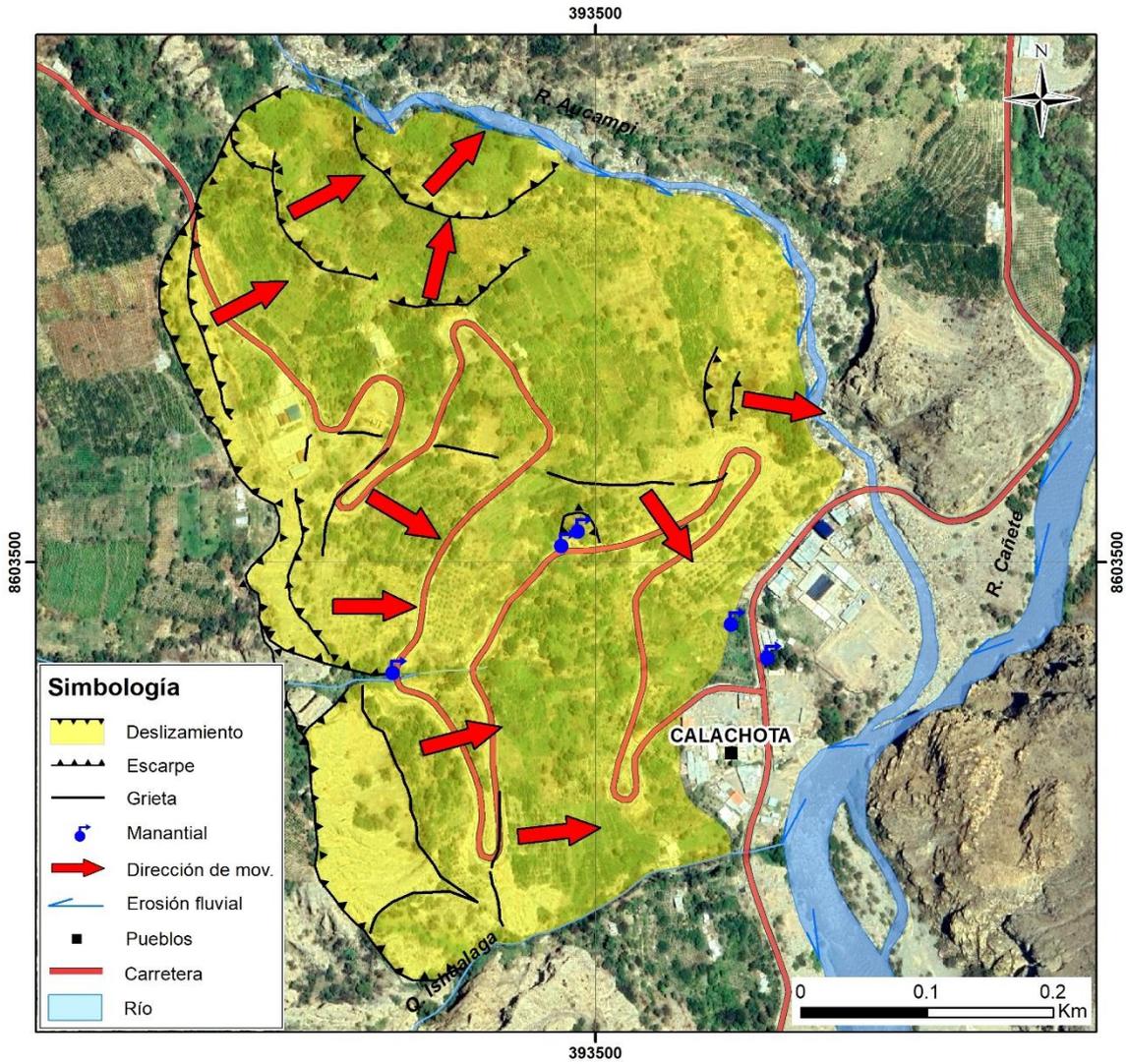


Figura 4. Cartografía de peligros en el poblado Calachota.

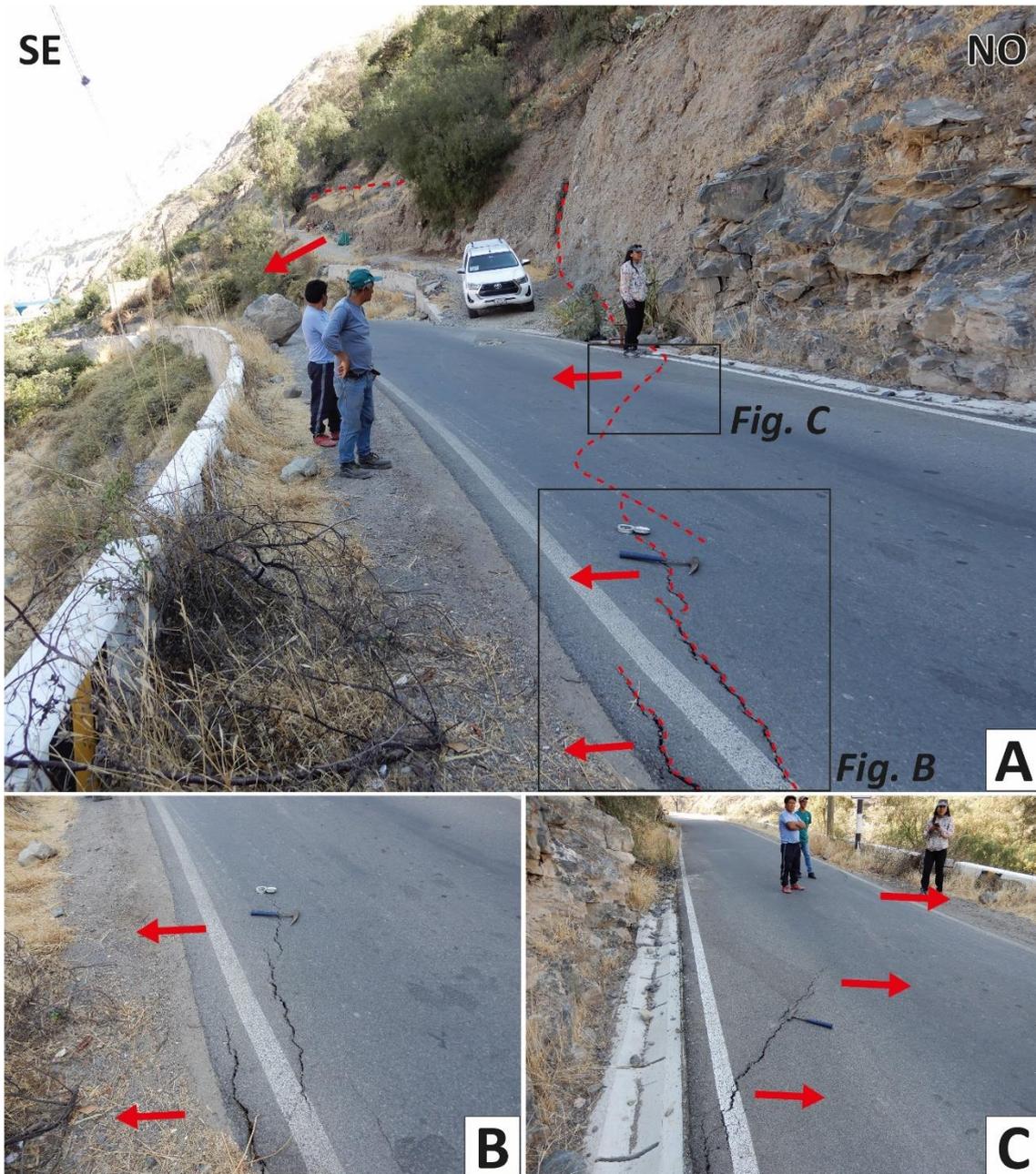


Figura 5. Grietas en la pista (línea roja punteada) producto de la reactivación del deslizamiento. A) Grietas en la pista y escarpe antiguo, este tiene una dirección de movimiento N 110° (flechas rojas). B) apertura de grieta 2 cm. C) las grietas y desplazamiento del terreno afecta la pista y la cuneta

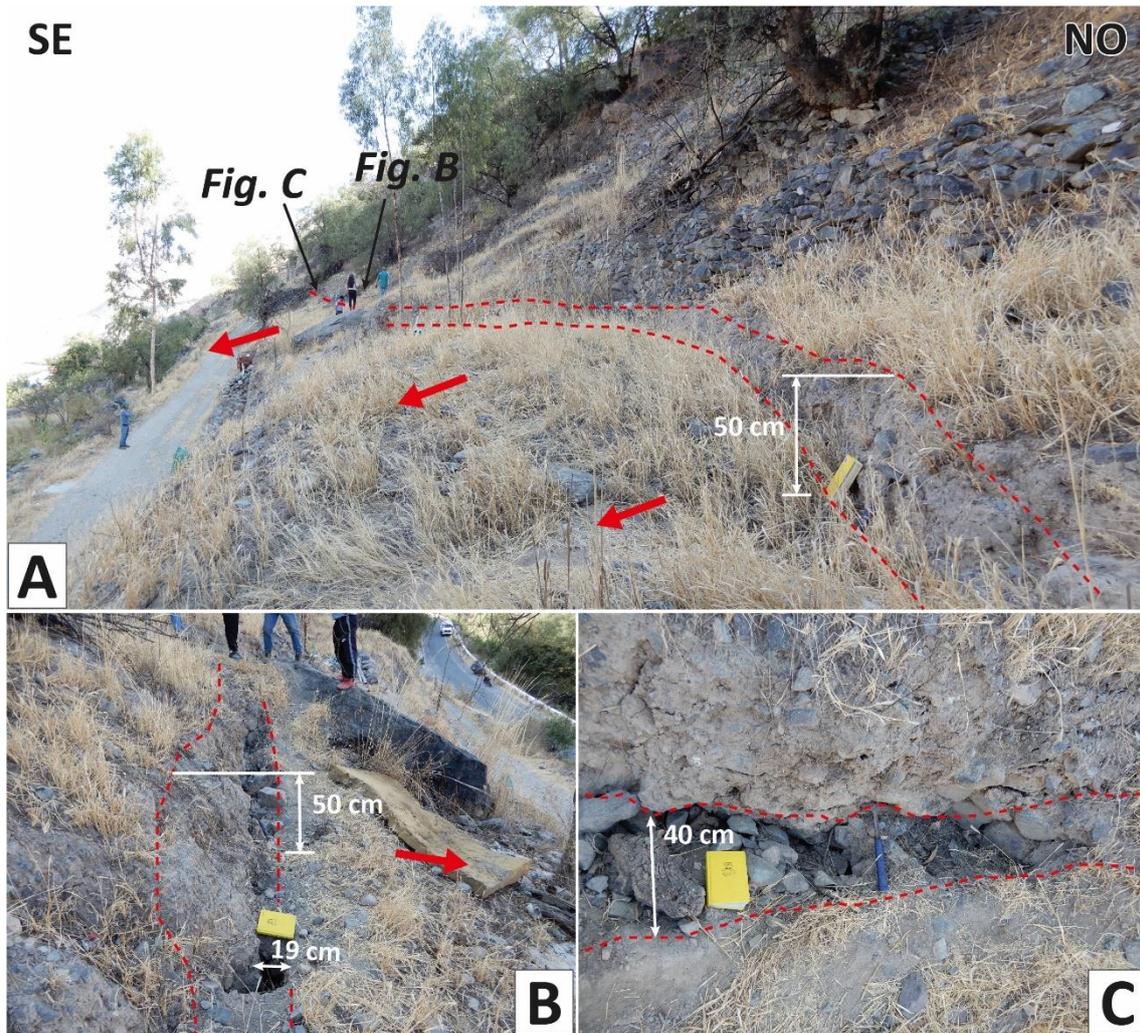


Figura 6. Reactivación en el escarpe del deslizamiento. A) Escarpe del deslizamiento, presenta un desnivel de 50 cm y la dirección del movimiento del terreno (flechas rojas) es N 110°. B) Desnivel de 50 cm y apertura de grieta de 19 cm. C) Apertura máxima de la grieta de 40 cm.

La institución educativa San Antonio de Quiriman (Figura 7), se encuentra en parte del cuerpo del deslizamiento, en el terreno se presentan agrietamientos; en el terreno de la cancha deportiva se observó hundimiento y levantamiento con altura de hasta 2.5 cm. La dirección del movimiento del terreno es N 150°.

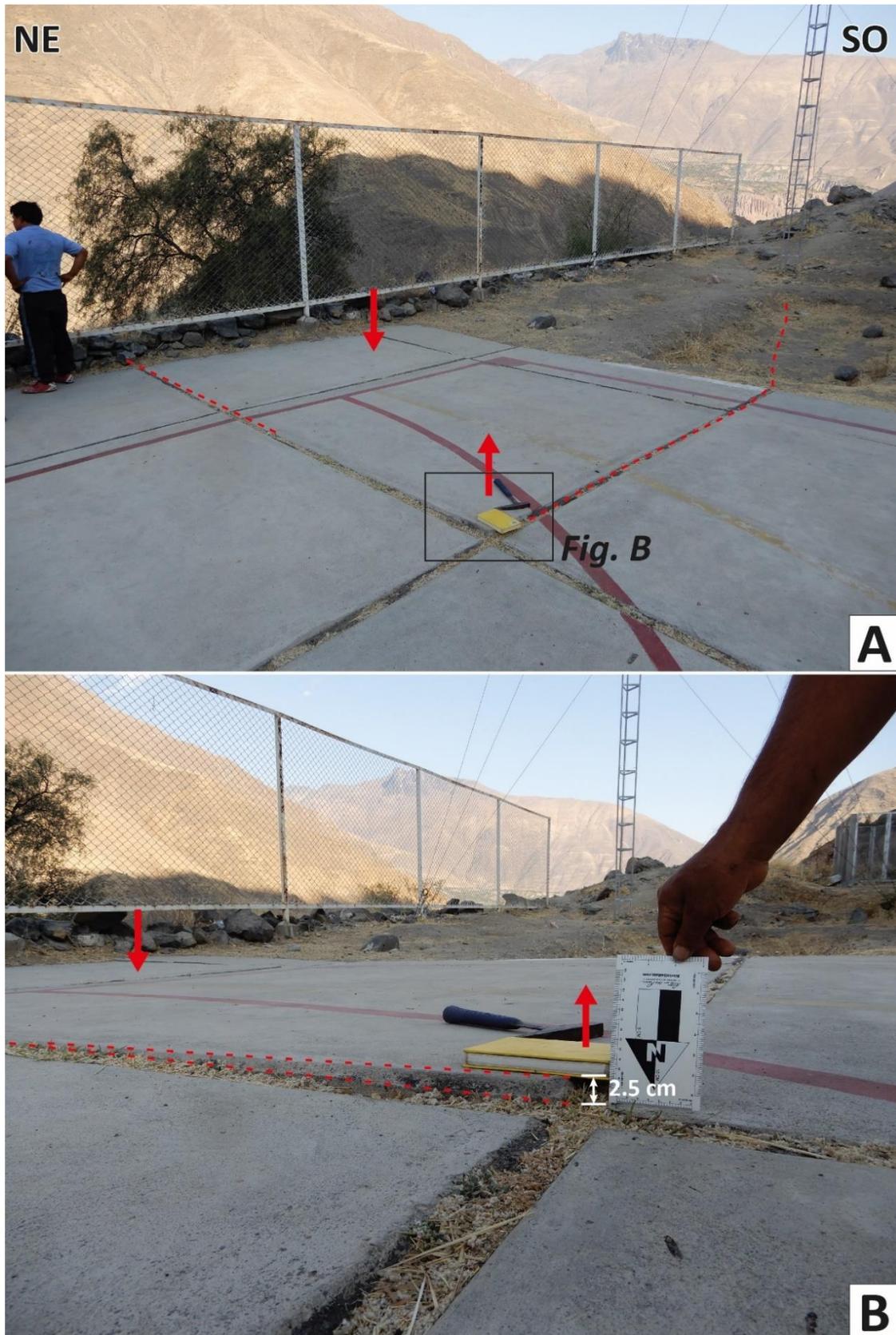


Figura 7. Cancha multiusos de la institución educativa San Antonio de Quiriman. A) Zona que evidencia deformación en el terreno. B) hundimiento y levantamiento de la cancha, se levantó hasta 2.5 cm.

En otro punto del cuerpo del deslizamiento, a la altura del kilómetro 1+790 de la carretera Calachota – Allauca (Coordenadas: 393340; 8603586) se observan agrietamientos que afectan la carretera (Figura 8), estas grietas tienen una dirección predominante N 40°, con apertura de 1.7 cm y presenta un desplazamiento vertical de 6.5 cm (Figura 8C). La dirección de movimiento del terreno es N 120°.

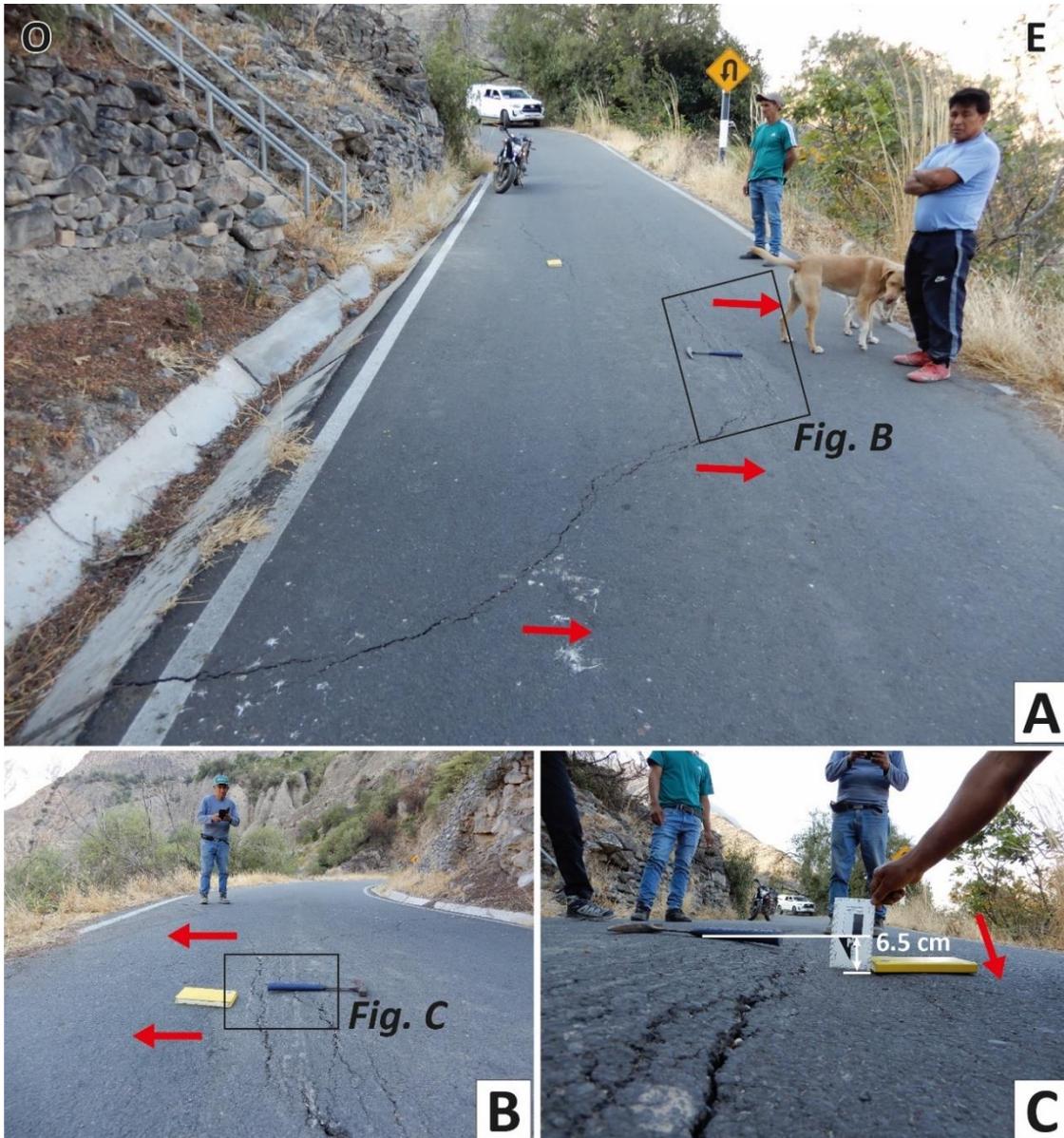


Figura 8. Grietas en la pista producto de la reactivación del deslizamiento. A) Pista afectada por las grietas, la dirección de movimiento del terreno (flechas rojas) es N 120°. B) Detalle de las grietas. C) Las grietas presentan una apertura de 1.7 cm y un desplazamiento vertical de 6.5 cm.

En la coordenada 393296; 8603548, se observan otros agrietamientos que también afectan la carretera (Figura 9), estas grietas tienen longitud ~30 m y dirección preferente N 65°, en este sector las grietas tienen apertura de hasta 3 cm y desplazamiento vertical de 5 cm (Figura 9D). La dirección de movimiento del terreno es N 150°. Esta deformación del terreno y los agrietamientos afectaron también la cuneta para derivación de aguas de lluvia (Figura 9E), permitiendo la infiltración de agua en el suelo.

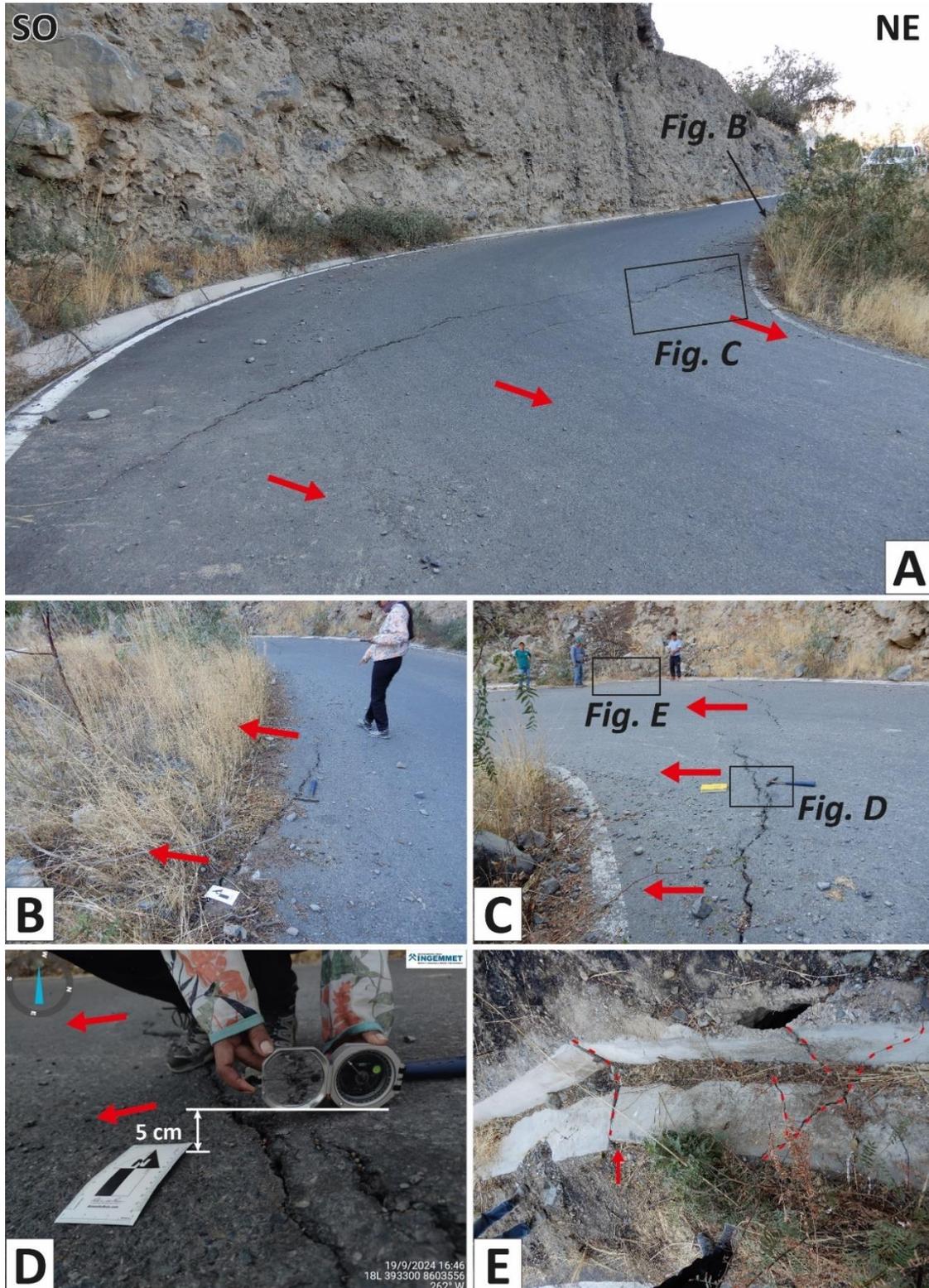


Figura 9. Agrietamientos en la pista. A) Evidencia de grietas que cruza toda la pista con una dirección preferente de movimiento del terreno (Flechas rojas) de N 150°. B y C) Desplazamiento del terreno en dirección N 150°. D) Desplazamiento vertical de 5 cm. E) Cuneta al borde la pista completamente agrietada y destruida, permite la infiltración del agua que circula por este lugar.

En la coordenada 393296; 8603548, se observa un plano de deslizamiento y su prolongación (grieta) que afecta la carretera (Figura 10). El plano del deslizamiento tiene dirección N 330° y buzamiento 53° NE (Figura 10B); debido al desplazamiento de la

masa se observaron estrías que muestran el movimiento de la masa deslizada, se hizo la medida del pitch que es 40° al noroeste (Figura 10B). La grieta de prolongación que afecta la pista tiene una dirección paralela al movimiento $N 100^\circ$ (Figura 10C).



Figura 10. A) Deslizamiento donde se observa el plano del deslizamiento y como este afecta la carretera. B) Detalle del plano de deslizamiento con una dirección $N 330^\circ$ y buzamiento 53° al noroeste. Detalle de las estrías producto del movimiento del deslizamiento. C) grieta en la pista producto de la propagación del borde del deslizamiento.

Hacia el flanco derecho del deslizamiento, específicamente en la parte media de la masa deslizada (coordenada.: 393424; 8603268; Figura 11A), se observan agrietamientos que afectan la carretera (Figura 11B), estas grietas tienen una longitud ~ 70 m y una

dirección preferente N 5°, en este sector las grietas tienen una apertura de hasta 1 cm. La dirección de movimiento del terreno es N 105°. Esta deformación del terreno y agrietamientos afectaron el muro de contención que tiene una edad de construido dos años y que en la actualidad se encuentra agrietado, deformado y desplazado (Figura 11C, 11D, 11E), esto debido al empuje del terreno, la dirección del movimiento es N 130, estos muros presentan grietas con aperturas de hasta 3 cm (Figura 11E) y un desplazamiento vertical de 1.5 cm (Figura 11D, 11E).

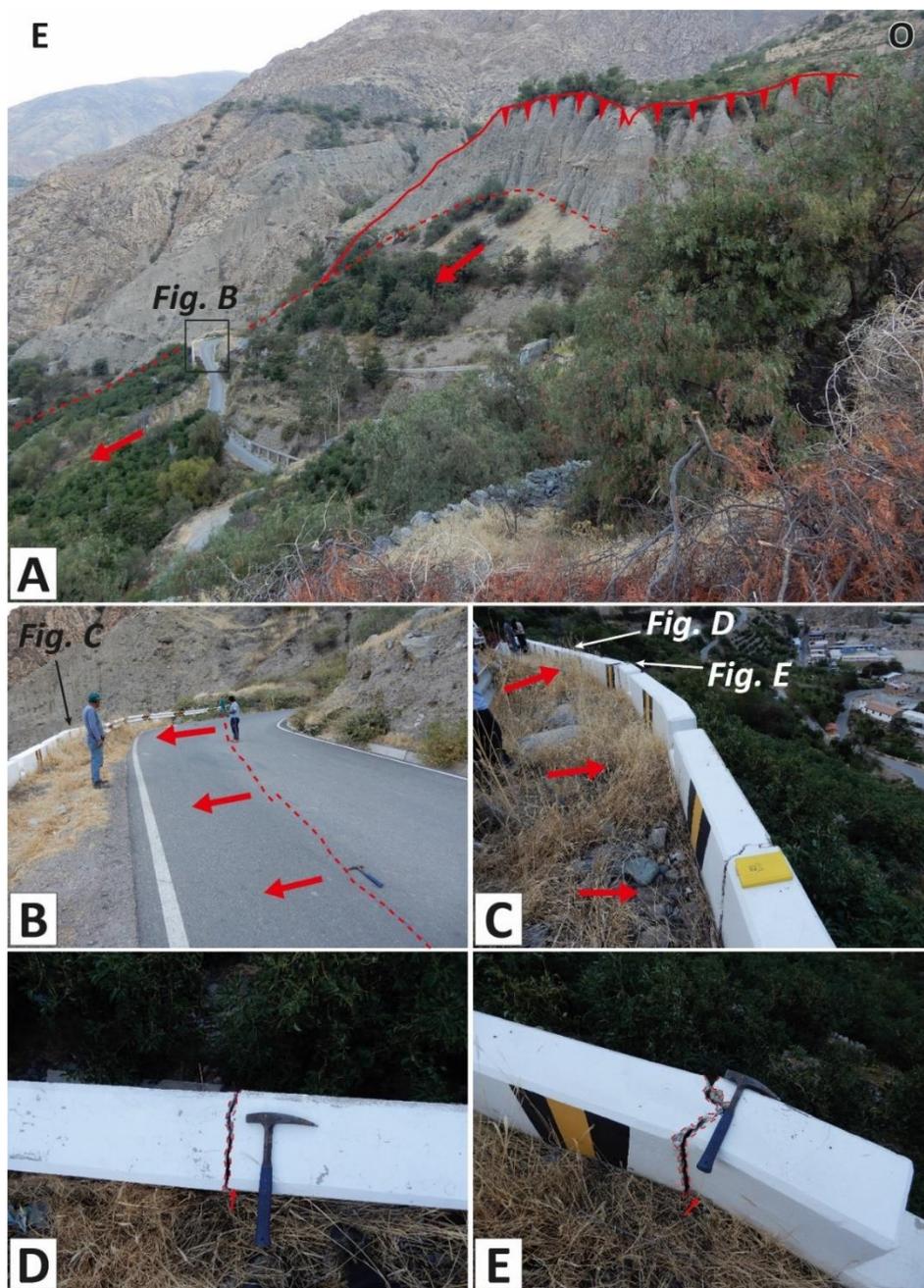


Figura 11. A) Flanco derecho del deslizamiento de Calachota. B) presencia de grietas en la pista, dirección de movimiento N 105° (flechas rojas). C, D y E) Evidencias de muro de contención afectado, presenta apertura de grietas y desplazamiento en dirección N 105°.

En el cuerpo del deslizamiento de Calachota (Coordenada: 393478; 8603511) el año 2023 se produjo un deslizamiento (Figura 12) ocasionado por el corte de talud para construcción de carretera.

Por encima del deslizamiento se tienen terrenos de cultivo que son regados por inundación. Hacia el flanco derecho del deslizamiento se tiene una surgencia de agua al igual que en el cuerpo del deslizamiento.



Figura 12. Deslizamiento, debido al corte de talud parra la ampliación de la pista y al riego de los terrenos de cultivo en la parte alta de este deslizamiento.

En la coordenada 393602; 8603569, se observa agrietamientos que afectan la carretera (Figura 13), que se propagan hacia los terrenos de cultivo, tienen una longitud ~25 m y una dirección preferente N 75°, en este sector las grietas tienen una apertura de hasta 1.5 cm. La dirección de movimiento del terreno es N 150° (Figura 13).



Figura 13. Parte media del deslizamiento de Calachota, se evidencia agrietamientos en la pista y en el talud, la dirección de movimiento del terreno es N 150°.

En la coordenada 393630; 8603587, se encuentra una construcción de graderías que se terminó de construir en febrero de 2024. En el momento de la evaluación (noviembre 2024) se observó que se encuentran agrietadas con aperturas de hasta 1.5 cm. La dirección de movimiento del terreno es N 150° (Figura 14).



Figura 14. Agrietamientos en graderías recién construidas en febrero de 2024, presenta grietas con aperturas de hasta 1.5 cm

En la coordenada 393340; 8603586 se observan reactivaciones y agrietamientos que afectan terrenos de cultivo (Figura 15A), estas grietas tienen una dirección preferente N 15°, en este sector las grietas tienen una apertura de 20 cm y presenta un desplazamiento vertical de 60 cm (Figura 15B). La dirección de movimiento del terreno es N 100°.

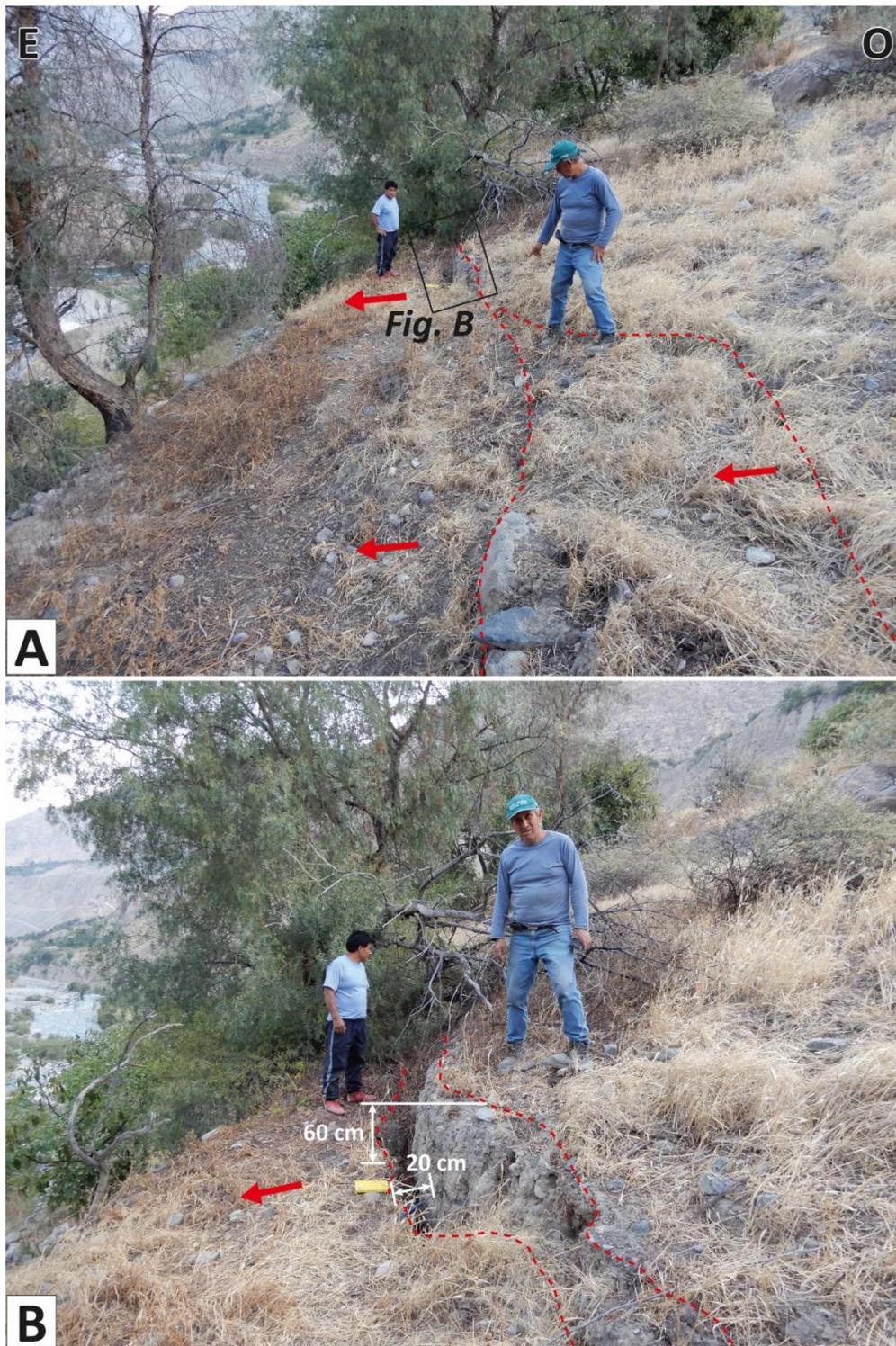


Figura 15. Parte media baja del deslizamiento de Calachota. A) Se observa saltos y aperturas en terreno de cultivo. B) El desnivel llega a ser de 60 cm y presenta una grieta con apertura de 20 cm. El movimiento del terreno es N 100° (Flecha roja).

4.2. Erosión fluvial:

Llamada también erosión lateral, consiste en el arranque de los depósitos y/o materiales que se encuentran en ambos márgenes del cauce del río, producto del socavamiento producido por éste, provocando derrumbes en ambos márgenes. En la zona de estudio estos procesos se observan en la margen derecha de los ríos Aucampi y Cañete. El primero afecta la estabilidad del talud (Figura 4) y la erosión provocada por el segundo río afecta directamente al poblado de Calachota (Figura 4).

5. FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES

El deslizamiento antiguo de Calachota, en proceso de reactivación, tal como se evidencia los agrietamientos o movimientos recientes que se encuentran en el escarpe y el cuerpo del deslizamiento. Este hecho indica que la masa deslizada se está deformando continuamente, y las mediciones en campo constatan que la masa deslizada se mueve en dirección de la pendiente del terreno hacia el este.

En ese entender, dentro de los factores que condicionan la reactivación del deslizamiento de Calachota, viene a ser:

- a) Depósitos aluviales que vienen a ser depósitos inconsolidados, que son de fácil remoción
- b) Pendiente del terreno, prevaleciendo las pendientes fuertes a escarpadas, donde el material inestable que se encuentra en la ladera se pueda desplazar ladera abajo
- c) Infiltración del agua proveniente del riego por gravedad de los terrenos de cultivo (paltas, manzanas y chirimoyas), que ayuda a saturar al terreno y por ende su cohesión.
- d) Lluvias intensas que ocurren en los meses de diciembre a marzo saturan el depósito, incrementando el peso del material inestable. Por la saturación de agua se observan surgencias de agua en el cuerpo y el pie del deslizamiento.

Estos factores en conjunto facilitan para que haya una continua deformación y reactivación del deslizamiento.

El poblado de Calachota ubicado en la margen derecha de los ríos Cañete y Aucampi, es afectado por inundación y erosión producida por ambos ríos, estos generan mayores daños cuando incrementan su caudal en los periodos lluviosos (diciembre - marzo).

Por consiguiente, los factores detonantes vienen a ser en primer lugar el agua proveniente de lluvias y riego, los sismos y el factor antrópico debido a los cortes de talud y por el inadecuado uso de riego tecnificado.

6. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Una de las medidas fundamentales para garantizar la estabilidad en este tipo de fenómenos es el manejo controlado del agua tanto en la superficie como en el subsuelo. Estos sistemas están diseñados para regular el agua y sus efectos, reduciendo las fuerzas que pueden desencadenar el movimiento y/o fortaleciendo las fuerzas de resistencia.

Los métodos destinados a estabilizar deslizamientos mediante el control del agua, ya sea en la superficie o en el subsuelo, resultan altamente eficaces y, por lo general, más económicos que la construcción de estructuras de contención a gran escala.

Estos métodos tienden a desactivar o reducir la presión de poros, que se considera el principal factor desestabilizador en las laderas o zonas de pendientes. El drenaje no solo disminuye el peso de la masa, sino que también aumenta la resistencia de la ladera (Suarez, 1998).

Las medidas de drenaje recomendadas son las siguientes:

6.1. DRENAJE SUPERFICIAL

El objetivo es recolectar las aguas superficiales, incluyendo aquellas captadas por drenajes profundos, y dirigir las lejos del talud para prevenir la infiltración y la erosión. El sistema de recolección debe abarcar tanto la escorrentía de la ladera como la proveniente del riego por gravedad ubicada en la parte superior del talud y en el cuerpo del deslizamiento, conduciendo el agua hacia una ubicación segura, alejada del deslizamiento.

La evacuación de las aguas de escorrentía se lleva a cabo mediante zanjas de drenaje, ya sea impermeabilizadas o no, dispuestas aproximadamente de manera paralela al talud. Estas zanjas deben situarse a una corta distancia de la cresta del talud y en su parte posterior, con el fin de evitar que el agua alcance las grietas de tensión. (Figura 16, 17 y 18).

Emplear *zanjas horizontales o canaletas de drenaje horizontal*, las cuales estarán dispuestas de manera paralela al talud y ubicadas al pie del mismo. Se utilizan *canales colectores en forma de "espinas de pescado"*, que combinan una zanja drenante o canal en gradería, siguiendo la línea de máxima pendiente, con zanjas secundarias (espinas) ligeramente inclinadas que convergen en la espina central. La construcción y el mantenimiento de estas estructuras en áreas críticas requieren una supervisión adecuada. Para prevenir la reinfiltración de las aguas, es fundamental impermeabilizar adecuadamente estos canales, como se muestra en la Figura 19.

Las zanjas y/o canales deben dirigirse hacia zonas de entrega en gradería u otro disipador de energía que canalice el agua recolectada hacia un lugar seguro, tal como se ilustra en las Figuras 20 y 21.

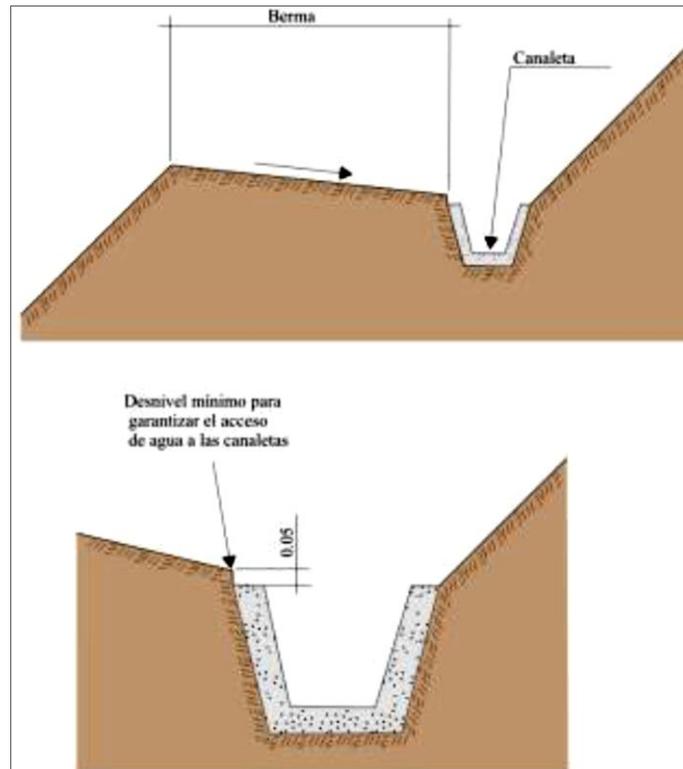


Figura 16. Detalle de una canaleta de drenaje superficial (tomado de INGEMMET, 2000).

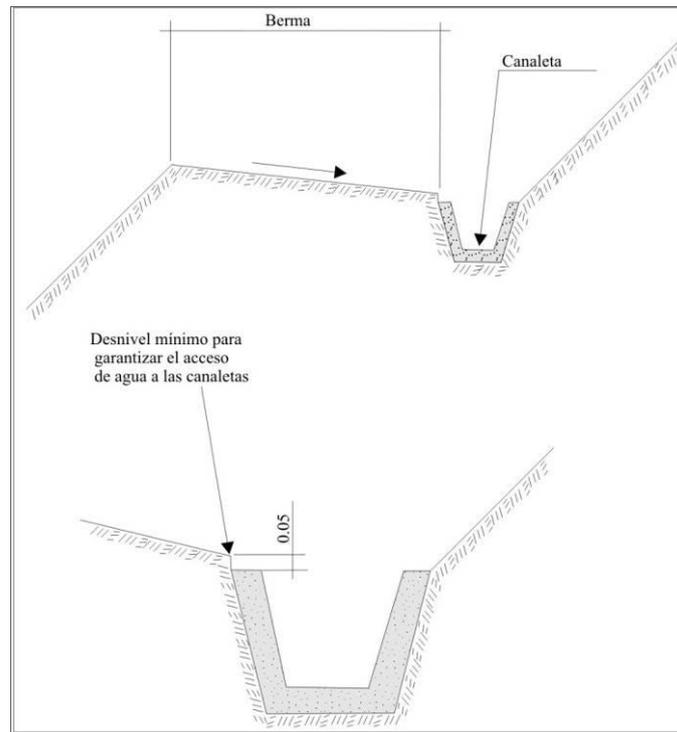


Figura 17. Detalle una canaleta de drenaje superficial (Zanjas de coronación).

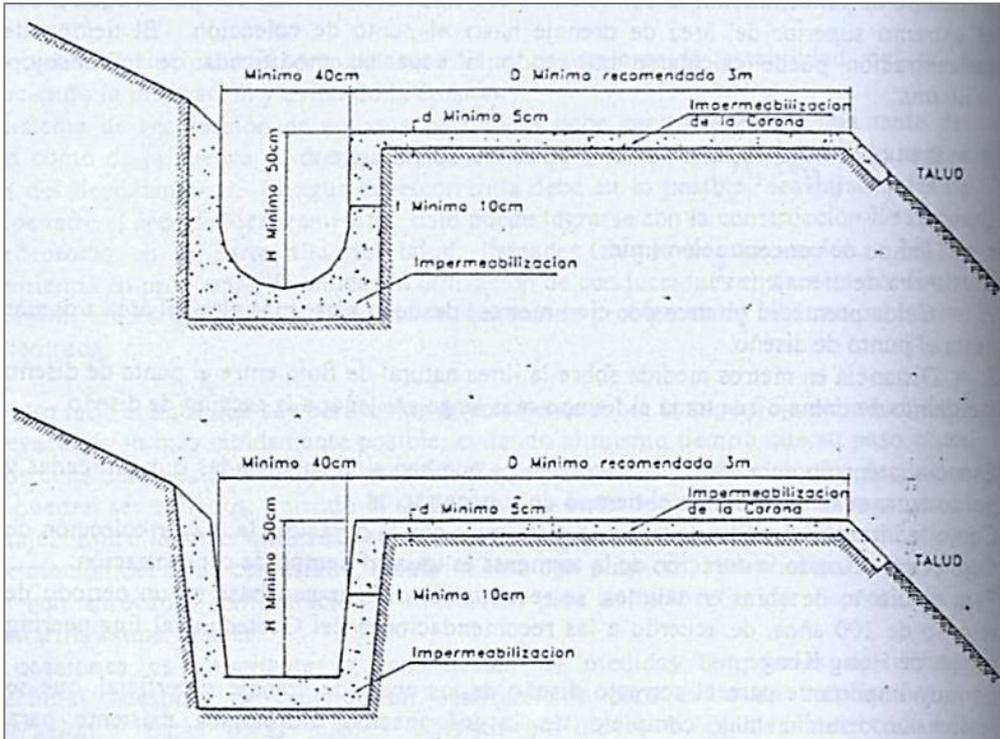


Figura 18. Detalle de zanjas de coronación para el control de aguas superficiales en un talud.

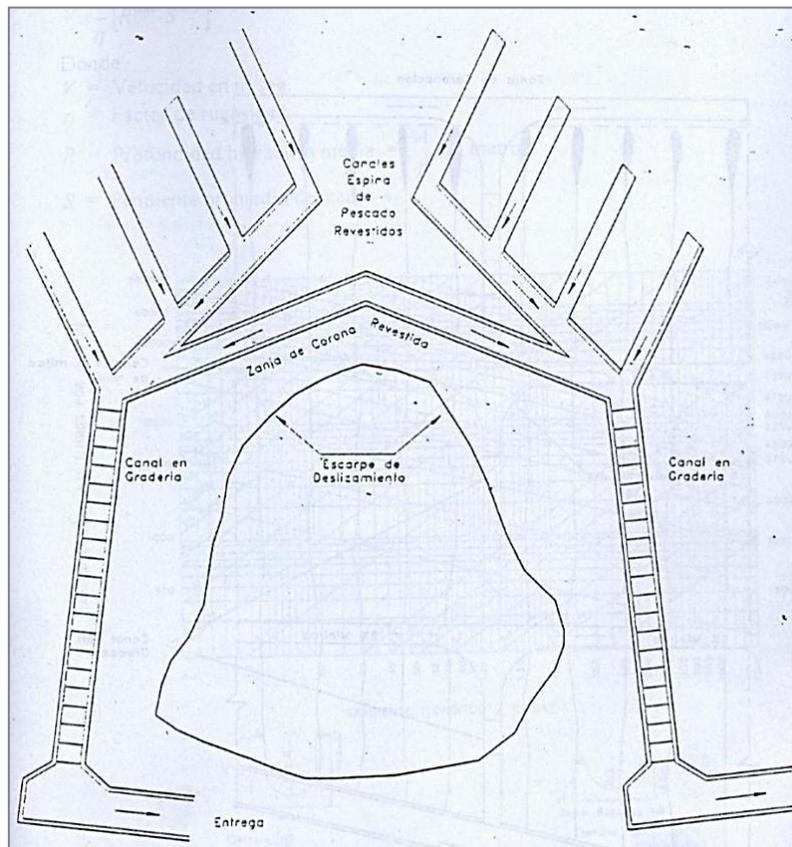


Figura 19. Esquema de planta de canales colectores espina de pescado con canales en gradería

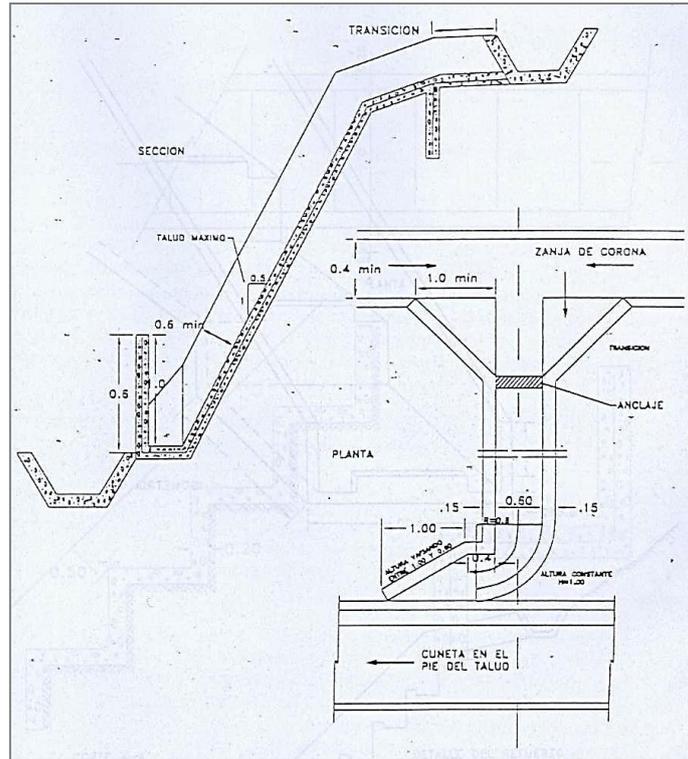


Figura 20. Detalle de un canal rápido de entrega

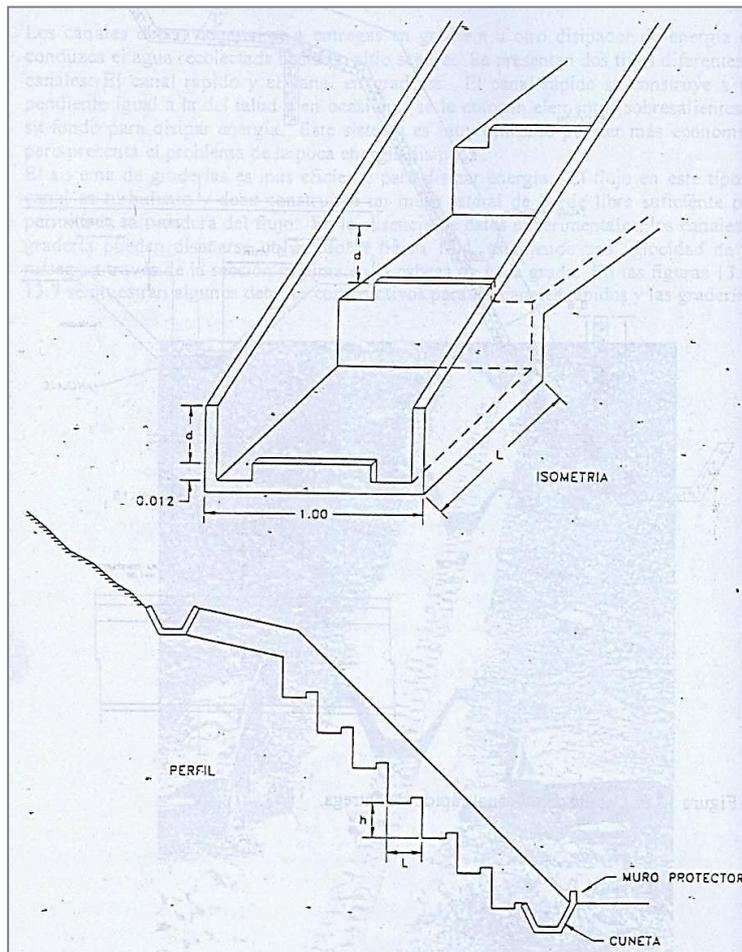


Figura 21. Canal de entrega con gradas de disipación.

6.2. DRENAJE SUBTERRÁNEO

El objetivo del drenaje subterráneo es reducir las presiones de poro o evitar su aumento, en la zona del deslizamiento. Su aplicación requiere el previo conocimiento de las características hidrogeológicas del terreno. En el caso específico del deslizamiento de Calachota, es evidente que el depósito se encuentra saturado y este constituye la principal causa de la inestabilidad de la ladera, para ello se propone diferentes opciones de drenaje subterráneo:

Zanjas con relleno drenante: Consisten en zanjas rellenas con material drenante, excavadas en el talud o más allá del pie del mismo y cuya acción drenante se limita a profundidades pequeñas (Figura 22). Estas zanjas pueden estar dispuestas detrás del escarpe del deslizamiento de Calachota o en la masa deslizada.

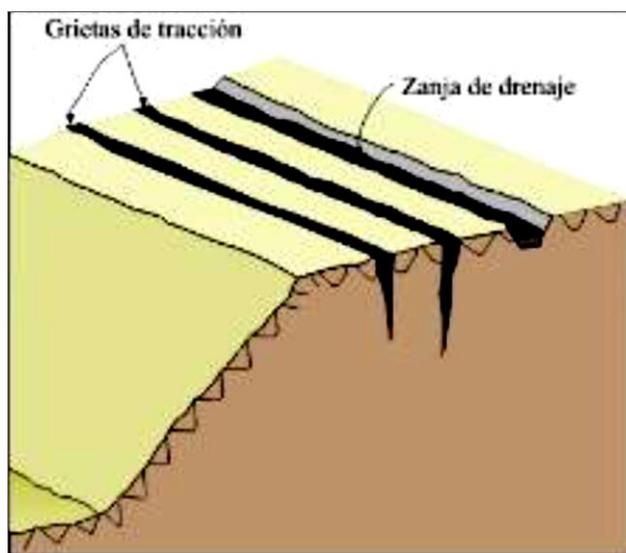


Figura 22. Disposición de zanjas en un talud (Tomado de INGEMMET, 2000)

Estos drenes pueden ser de dos tipos:

Subdrenes interceptores: Son zanjas excavadas manualmente o con retroexcavadora, rellenas de material filtrante y equipadas con elementos de captación y transporte de agua. Para el deslizamiento de Calachota se recomienda que este subdren tenga profundidad máxima de 3.50 m o la que recomiende el especialista contratado.

Existen diversas formas de construirlos (Figura 23): A) utilizando material de filtro y tubo colector; B) empleando geotextil como filtro, material grueso y tubo colector; C) con material grueso permeable sin tubo (dren francés); D) utilizando un tubo colector con una capa gruesa de geotextil alrededor; E) con geotextil, material grueso sin tubo; F) utilizando un dren sintético con geomalla, geotextil y tubo colector.

La elección del tipo de subdren dependerá del material disponible en la zona, los costos asociados y la necesidad específica de captación y caudal del drenaje. En el caso del deslizamiento Calachota, se recomienda cualquiera de los tipos A, C y D (Figura 23, 24, 25, 26).

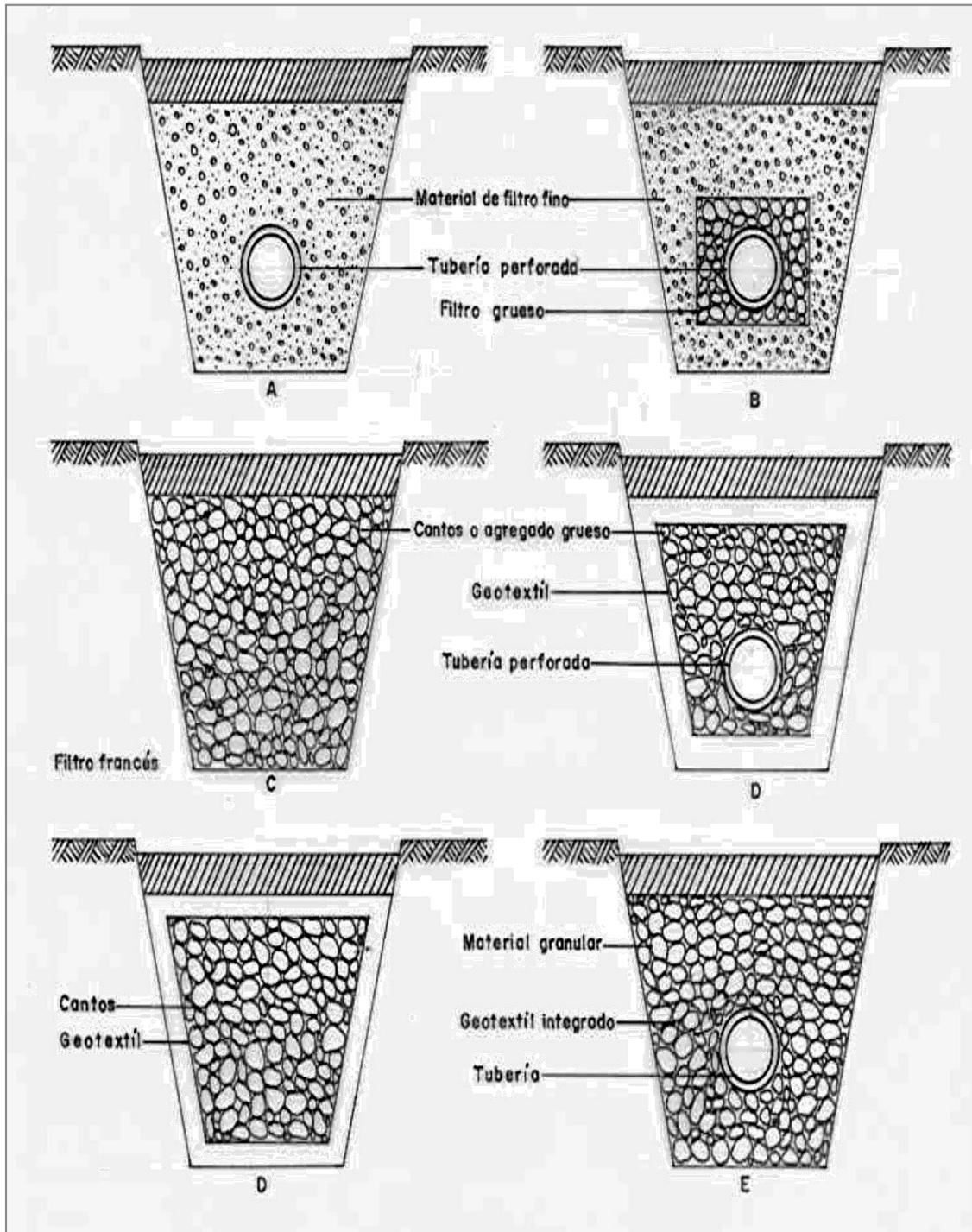


Figura 23. Tipos de subdrenes interceptores (Adaptado de Suárez, 1998)

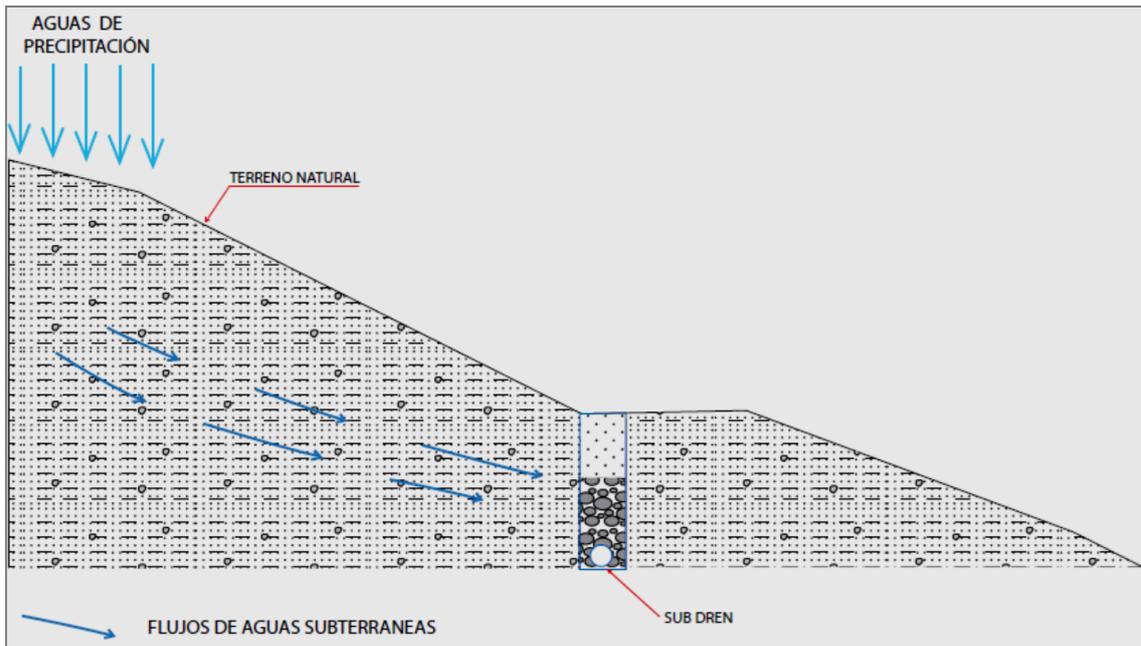


Figura 24. Esquema del subdrén Tipo A) material de filtro y tubo colector.

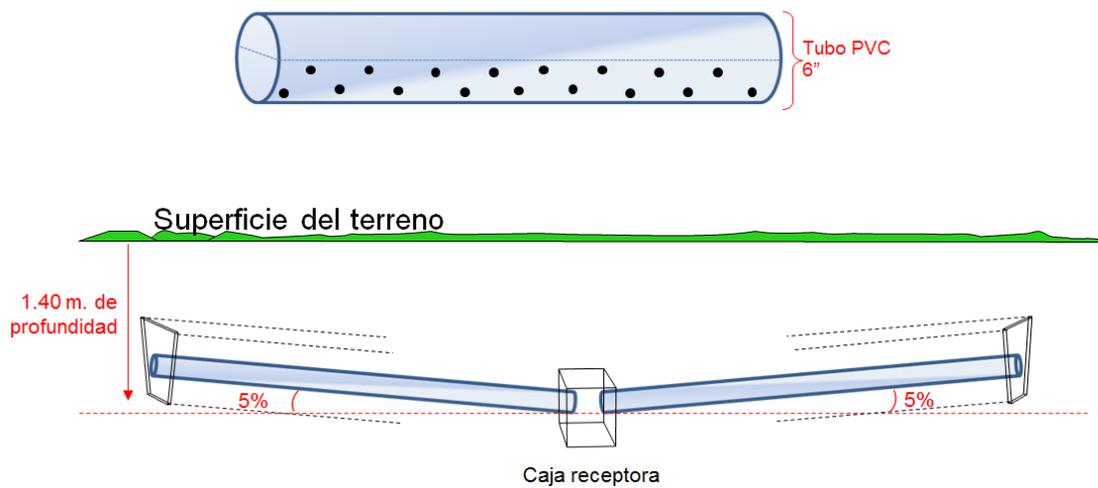


Figura 25. Modelo de tubo ranurado (cribado) y posición en profundidad. La caja receptora también puede estar a los extremos dependiendo de la ruta de evacuación.



Figura 26. Proceso constructivo de un subdrén tipo D) con tubería cribada, material grueso (Grava) y geotextil, aplicado para drenaje longitudinal. El geotextil es permeable (Farfan *et. Al*, 2010).

Subdrenes horizontales o de penetración: Este sistema implica el uso de una tubería perforada que atraviesa una masa de suelo mediante una perforación subhorizontal o ligeramente inclinada. El objetivo es reducir el nivel freático a un punto que mejore la estabilidad de la ladera o talud. La principal ventaja de este tipo de drenes radica en su instalación que es rápida y sencilla, lo que permite lograr un aumento significativo en el factor de seguridad de la ladera en un corto período de tiempo (Figuras 27 y 28). Estos tipos de drenaje se recomiendan para el pie del deslizamiento Calachota.

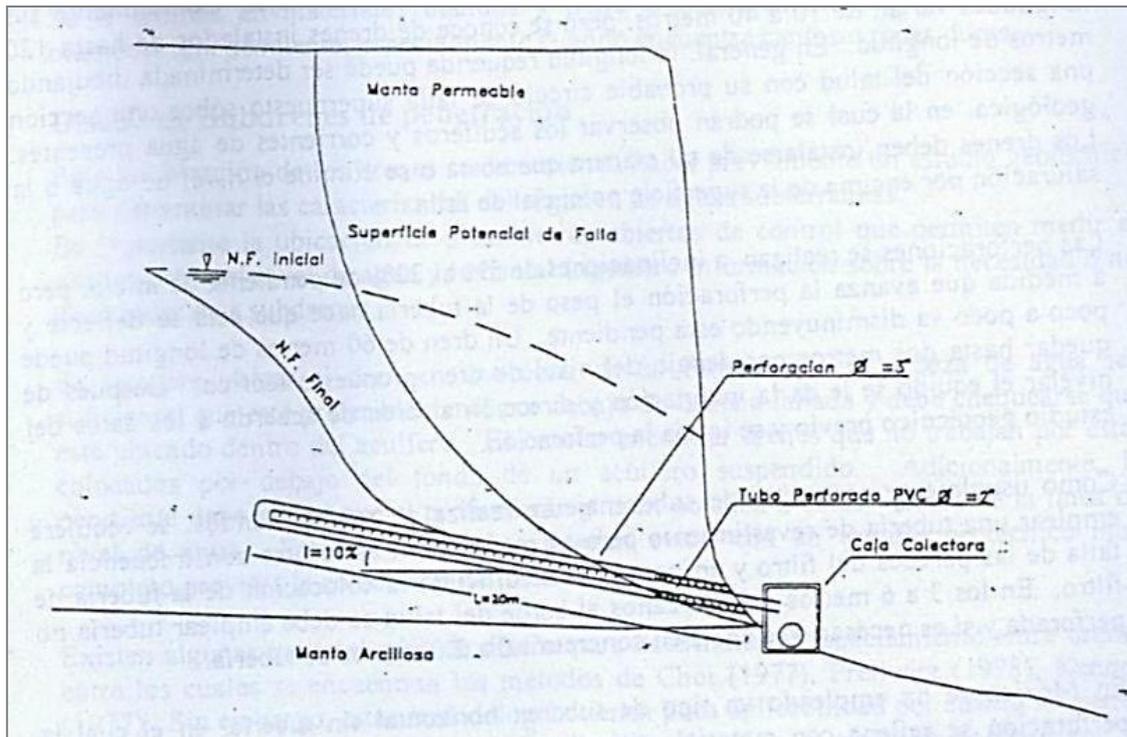


Figura 27. Esquema general de colocación de un subdrén de penetración.

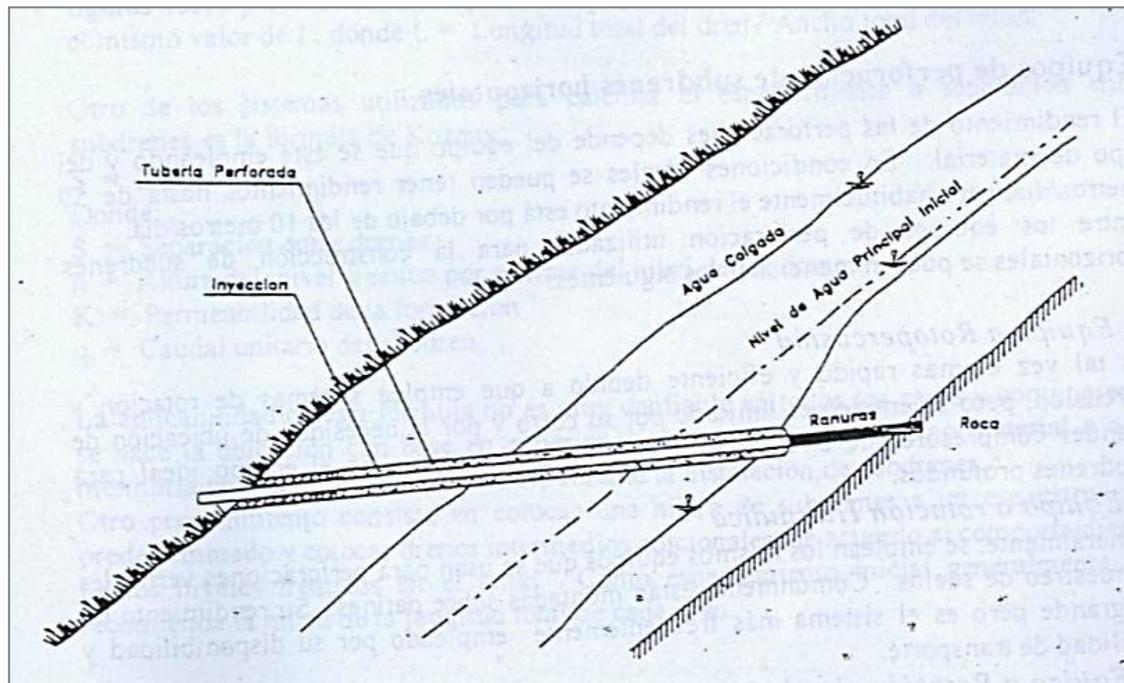


Figura 28. Subdrén de penetración diseñado para captar solamente en la punta interior

Pantallas de drenaje: Este tipo de estructuras son similares en apariencia a un muro de contención, las cuales se colocan sobre la superficie de la

ladera o talud con el objetivo principal de impedir que se produzca erosión ocasionada por las filtraciones del agua subterránea (Figura 29).

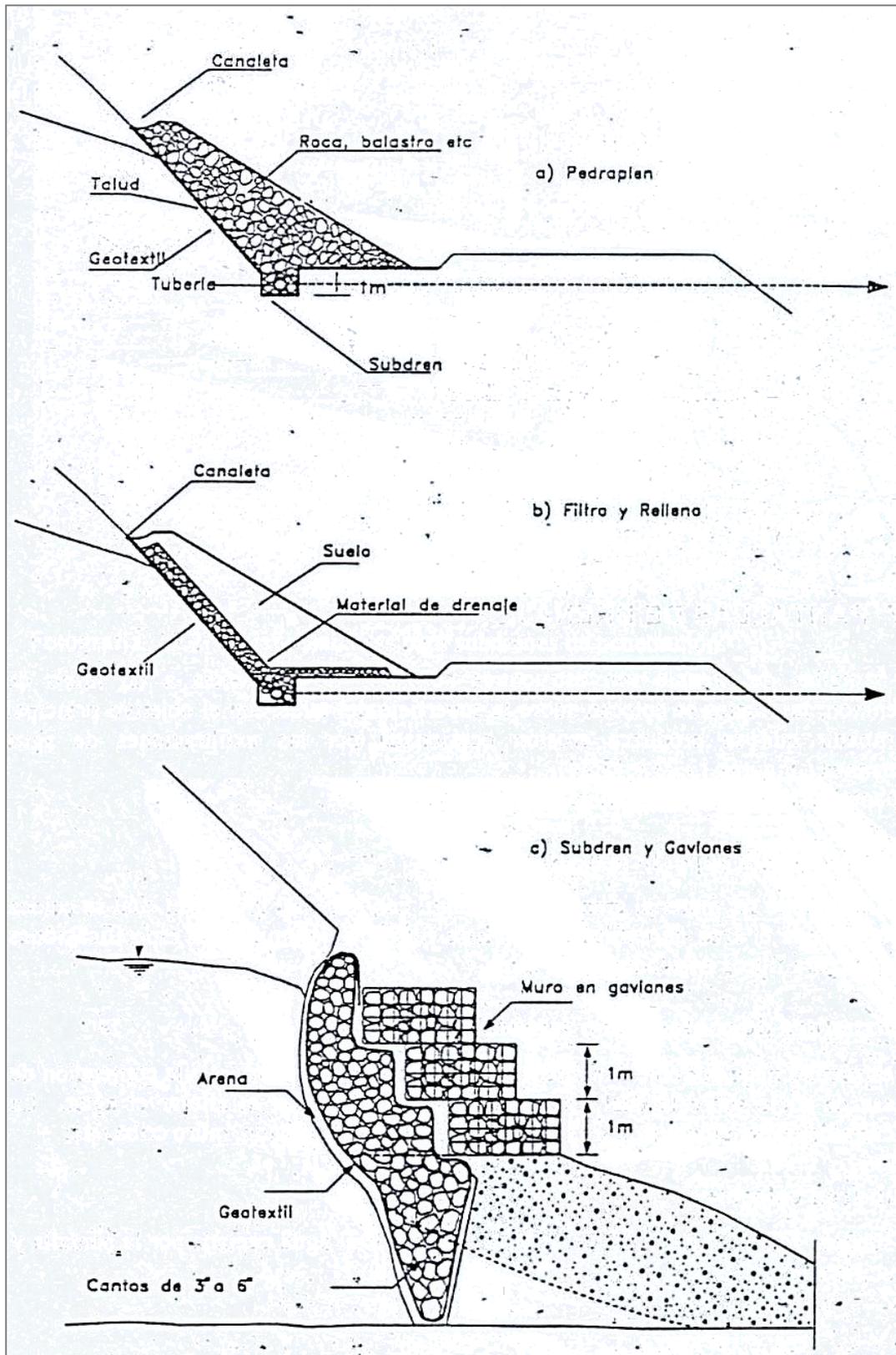


Figura 29. Ejemplos de subdrenes de pantalla

6.3. ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN:

Para la contención de los taludes y en especial para controlar las reactivaciones ocurridos en los cortes de la carretera y así disminuir su evolución de deslizamientos, se debe proponer estructuras de contención. Es recomendable que los muros de contención cuenten con subdrenes (figura 30) para disminuir la saturación del terreno. Se recomiendan este tipo de estructuras para cortes de talud o ladera y en la base de deslizamientos. Estas estructuras de contención pueden ser una combinación entre muro de contención o contrafuerte (con gaviones) y sistemas de canalización (Figura 31). También se puede utilizar para el control de la orilla se los ríos, en este caso para evitar la erosión fluvial producida por el río Cañete y la inundación es meses de crecida del caudal del río.

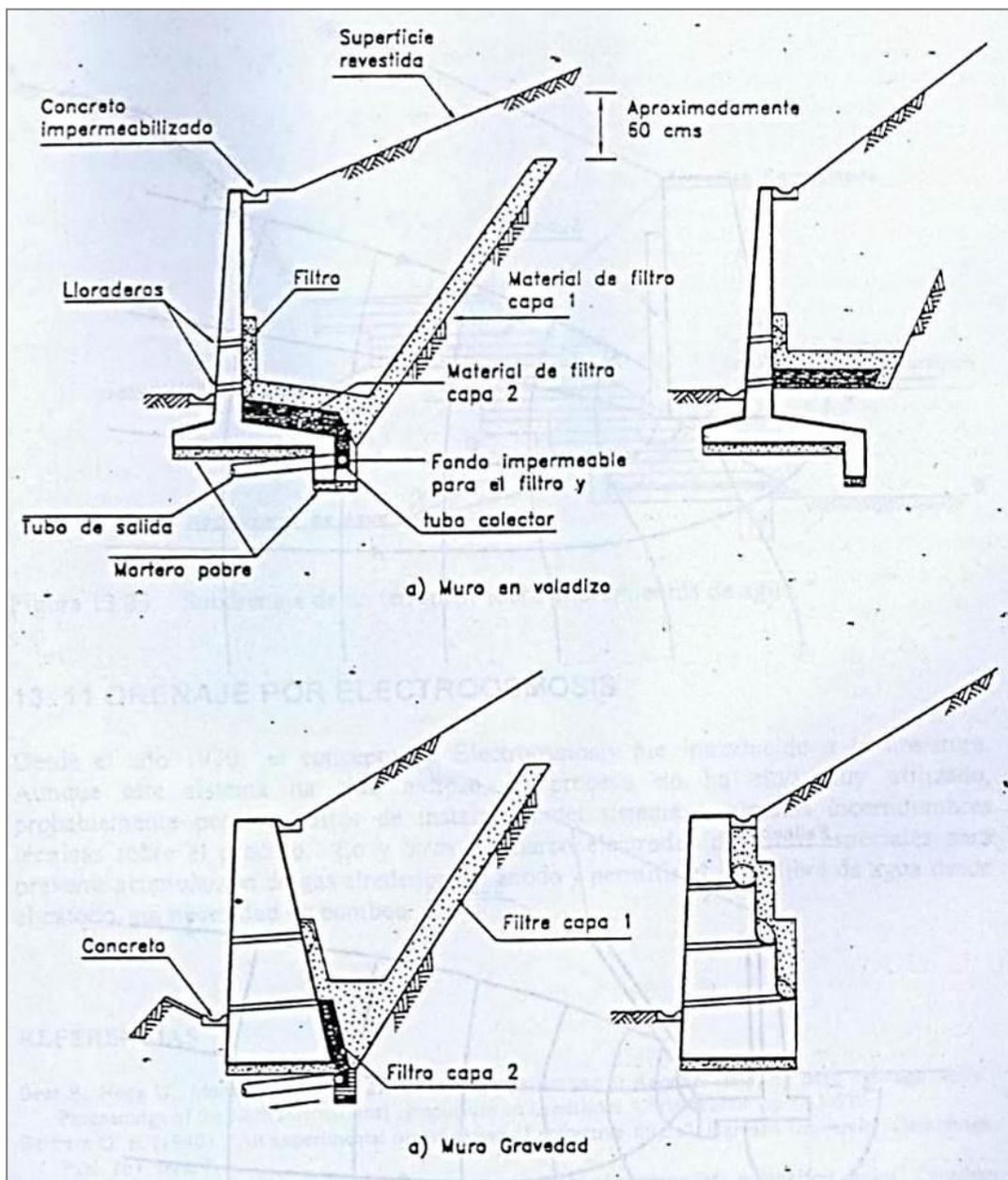


Figura 30. Ejemplos de subdrenajes con muros de contención.



a)



b)

Figura 31. Muros de contención. a) Combinación de muro de contención o contrafuerte en el pie de deslizamiento activo (con gaviones) y canalización de quebrada en la margen derecha (vista aguas arriba). b) Muro de contención (Gaviones).

7. CONCLUSIONES

En base al análisis de información geológica de la zona de estudio, así como a los trabajos de campo y la evaluación de peligros geológicos, emitimos las siguientes conclusiones:

- a) El área de estudio se considera geodinámicamente muy activa, tal como lo muestra las reactivaciones del deslizamiento antiguo de Calachota. Evidencia de estos procesos se ven en el escarpe y el cuerpo del deslizamiento.
- b) El deslizamiento de Calachota es de tipo rotacional. Tiene un escarpe principal ubicado a 1920 m s.n.m., presenta un ancho de ~ 480 m, el desnivel entre la cabecera y el pie del deslizamiento es 200 m y la longitud de recorrido es ~ 450 m.
- c) Las evidencias de deformación y reactivación del deslizamiento, se evidencia por las grietas en el escarpe del deslizamiento con aperturas de hasta 40 cm y desniveles de 50 cm. En el cuerpo del deslizamiento se observa grietas en la carretera, desniveles provocados por el movimiento y deformación del terreno; asimismo se observó muros de contención de concreto (finalizados de construir el año 2022) totalmente agrietados con aperturas hasta de 3 cm y desplazamientos de hasta 1.5 cm. En la parte media del cuerpo del depósito del deslizamiento, por el corte del talud, se reactivó en forma de deslizamiento, influenció también el riego por inundación. Todos estos indicios indican que el terreno se encuentra deformando. Por otro lado, en el flanco derecho del río Cañete, donde se emplaza el poblado de Calachota, presenta evidencias de erosión fluvial e inundación debido a incrementos del caudal del río en temporada de lluvias.
- d) La causa principal de la reactivación del deslizamiento es al agua producto de las fuertes precipitaciones pluviales y riego inadecuado que saturan el subsuelo e inestabilizan el talud.
- e) El depósito del deslizamiento Calachota presenta poca resistencia al corte y tiene baja cohesión.
- f) La pendiente del terreno del deslizamiento esta entre fuerte (15° - 25°) a muy fuerte (25° - 45°), lo que permite su inestabilidad sumada a la presencia de grietas fuentes de manantiales que ejercen caídas y derrumbes.
- g) Todos estos movimientos y/o procesos de reactivación pueden ser acelerados por sismos, precipitaciones pluviales excepcionales y la acción del hombre (antrópica).
- h) El poblado de Calachota se encuentra ubicado en la base de un deslizamiento reactivado, que de seguir el movimiento podría ser afectado, se debe tener en cuenta que la velocidad del deslizamiento es lento y constante, que afecta infraestructura (colegio y carretera). Las reactivaciones han generado pérdida de terrenos de cultivo. De no controlar el avance y deformación de este deslizamiento se podría generar daños mayores. En ese sentido el poblado de Calachota se considera como **Zona Crítica** y de **Peligro Alto a Muy Alto** a movimientos en masa.

8. RECOMENDACIONES

En base a los datos de campo y todo lo descrito en este informe se recomienda lo siguiente:

- a) De seguir el movimiento del deslizamiento se recomienda reubicar a toda la población del poblado de Calachota, incluyendo la institución educativa San Antonio de Quiriman. Esto con la finalidad de salvaguardar la vida.

Por otro lado, las recomendaciones para controlar la deformación del talud están enfocadas en controlar el drenaje de la zona (agua superficial y subterránea), utilizando diferentes sistemas, disminuyendo las fuerzas que producen movimiento y/o aumentando las fuerzas resistentes. **Se recomienda que los diseños y ejecuciones de las obras, deben de ser realizadas por un profesional especializado**, entre las recomendaciones se tiene:

- a) **Levantamiento topográfico:** Realizar un levantamiento topográfico detallado del deslizamiento de Calachota, utilizando drones a alta resolución (centímetros). Esta herramienta servirá de base para el planteamiento y desarrollo de las obras de estabilización.
- b) **Monitoreo del deslizamiento:** Se debe de realizar un monitoreo del deslizamiento, para ver la deformación y dinámica del deslizamiento, cuanto es la velocidad de deformación y en qué meses se incrementa.
- c) **Control del agua superficial:** Se debe implementar filtros o subdrenes interceptores, consistentes en zanjas rellenas de material filtrante y elementos de captación y transporte de agua (Ver ítem 6). Ello con la finalidad de controlar la presión producida por las aguas subsuperficiales y regular las fluctuaciones del nivel freático, brindando estabilidad y garantizando la permanencia de las obras que se ejecuten en la superficie del terreno, así como mejorar la aireación del suelo en favor de las coberturas vegetales.
- d) **Zanjas de coronación:** Construir zanjas de coronación impermeabilizadas en la cabecera del deslizamiento, con la finalidad de coleccionar las aguas de lluvia y drenarlas hacia una quebrada alterna o por canales de derivación, evitando que se infiltren en las grietas y escarpe (Ver ítem 6).
- e) **Drenaje de desvío:** Construcción de zanjas de desvío en los flancos del deslizamiento, con la finalidad de coleccionar y derivar las aguas de lluvia hacia la parte externa del deslizamiento, de manera que no se vea afectado el deslizamiento propiamente dicho.
- f) **Drenaje tipo espina de pez:** Construir drenajes tipo espina de pez con canales revestidos. Un primer canal en la parte superior, con la finalidad de interceptar el escurrimiento en la zona de mayor pendiente; el segundo canal en la parte media con la finalidad de evitar la infiltración de las aguas en el cuerpo del deslizamiento. Los canales revestidos deben desembocar a un canal longitudinal con la finalidad de conducir el agua fuera del deslizamiento.
- g) **Subdrenajes longitudinales:** Construir subdrenajes longitudinales tipos A, C y D (Figura 24), para captar las aguas subterráneas, reduciendo el nivel freático y evitando la sobresaturación del terreno (Ver ítem 6).

- h) Obras flexibles:** En la parte baja o base del deslizamiento es necesario construir obras flexibles como gaviones impermeabilizados, que se amolden a la deformación producida por el deslizamiento.
- i) Canalización del río Cañete:** Se debe de canalizar el flanco derecho del río Cañete construyendo muros de gaviones para controlar el socavamiento causado en la margen izquierda y así evitar la inundación en épocas de crecida del río.
- j) Entubado de canal:** Entubar con tubería flexible el agua para riego captada del río Aucampi, debido a que el canal presenta deformaciones, agrietamientos y fugas. Se deberá de utilizar el canal de concreto como base donde reposará la tubería, evitando así que se siga infiltrando el agua en el subsuelo y evitar el riego por inundación.
- k) Capacitación y concientización:** Se deberá capacitar y concientizar mediante talleres o charlas a los habitantes del poblado de Calachota sobre los peligros a los que están expuestos. La Municipalidad deberá señalizar o delimitar las zonas de peligro.
- l) Riego:** Se recomienda el uso de técnicas modernas de riego, como el riego por aspersión o goteo, dejando de lado el riego por gravedad o inundación; esta nueva modalidad de riego deberá de ser lapsos de riego corto, de no tener un control en el tiempo de riego el terreno este se saturará y continuará la evolución del deslizamiento.
- m) Cambiar el trazo de carretera,** porque el terreno esta inestable, se podrá usar como vía una vez que se tenga la certeza que el deslizamiento se ha estabilizado.

9. REFERENCIAS

- Beckinsale, R.; Sánchez, A.; Brook, M.; Cobbing, E.; Taylor, W. & Moore, N. (1985). Rb-Sr whole-rock isochron and K-Ar age determinations for the coastal batholith of Peru. En: Pitcher, W.S., et al. (eds.), Magmatism at a plate edge: the Peruvian Andes, John Wiley, New York, p. 177-202.
- Cobbing, E.J. (1984) The Geology of the Granitoids Rocks their envelope in Coastal Peru (two maps). British Geological Survey.
- Cruden, D. M. & VARNES, D. J., (1996) Landslide types and processes, en Turner, K., y Schuster, R. L., ed., Landslides investigation and mitigation: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 247, p. 36-75.
- Delgado, F., Zerathe, S., Schwartz, S., Mathieux, B., & Benavente, C. (2022). Inventory of large landslides along the Central Western Andes (ca. 15°–20° S): Landslide distribution patterns and insights on controlling factors. Journal of South American Earth Sciences, 116, 103824.
- Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(8), 2161-2181
- Froude, M. J., & Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(8), 2161-2181.
- Grupo GEMMA (PMA: GCA, 2007), Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, Canada, 404 p.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de zonas críticas por peligros geológicos ante Fenómeno El Niño 2023-2024 en el departamento de Lima. Tomo II: Lima Provincias. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7463, 240 p.
- SUAREZ, J. (1998). Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga, Colombia. 548 p.
- VARNES, D.J. (1978), Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Borrada Special Report 176, p. 9-33.



Ing. Fabrizio Delgado



Ing. BILBERTO ZAVALA CARRIÓN
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET