

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7022**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 10061 COLAYA CENTRO POBLADO COLAYA

Región Lambayeque  
Provincia Lambayeque  
Distrito Salas



## CONTENIDO

RESUMEN .....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
2. ANTECEDENTES.....	2
3. ASPECTOS GENERALES.....	3
3.1. Ubicación.....	3
3.2. Accesibilidad.....	4
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....	4
5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS .....	5
5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) .....	5
5.2. Mapa de Pendientes .....	5
5.3. Unidad de Montañas.....	7
6. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS .....	7
6.1. Definición de deslizamientos .....	8
6.2. Deslizamiento en el Centro Poblado Colaya .....	10
6.3. Flujo de lodos .....	13
6.4. Erosión de laderas .....	15
7. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS.....	17
7.1. Factores condicionantes .....	17
7.2. Factores desencadenantes.....	18
7.3. Daños.....	20
8. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS.....	22
8.1. Medidas estructurales.....	23
CONCLUSIONES .....	25
RECOMENDACIONES .....	26
REFERENCIAS.....	27

**EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS  
DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 10061 COLAYA  
CENTRO POBLADO COLAYA  
(Distrito de Salas, Provincia y Región Lambayeque)**

**RESUMEN**

La Institución Educativa 10061 Colaya se ubica a 200 m del área urbana del centro poblado Colaya, perteneciente al distrito de Salas, provincia y región Lambayeque, en el año 2017 fue afectada por un deslizamiento y fases de flujos de lodo provenientes de la parte alta de la ladera del cerro Colaya, la activación de quebradas de régimen temporal y la escorrentía debido a la falta de estructuras de drenaje pluvial tales como cunetas en la carretera Colaya - Corral de Piedra.

La zona de estudio se asienta sobre una ladera de montaña con pendientes altas y coberturas aluviales de naturaleza arcillosa, el relieve se encuentra intensamente erosionado con presencia de cárcavas profundas que descienden desde la parte alta con dirección este a oeste y se desplazan entre los pabellones, lozas deportivas y accesos; estos procesos de erosión afectaron los muros de contención y bases de concreto y lozas que han quedado colgadas debido a la pérdida de gran parte del suelo de cimentación.

La litología conformada por granodioritas, granitos y dioritas susceptibles a la erosión, la geomorfología y los tipos de suelos limo arenosos con contenido de arcillas de aspecto rojizo y blanquecino constituyeron los factores condicionantes que intervinieron en la ocurrencia de procesos de remoción en masa del centro poblado Colaya.

Debido a las precipitaciones ocurridas durante el Niño Costero, en el mes de febrero del 2017 se registraron intensas lluvias que activaron deslizamientos, caídas de rocas y flujos de lodos en el distrito de Salas que afectaron vías de comunicación principalmente trochas carrozables, puentes y terrenos de cultivo debido a los desbordes de ríos y quebradas. En el centro poblado Colaya, la I.E. 10061 sufrió daños en los muros de contención, aulas e instalaciones. Las autoridades locales en conjunto con el Gobierno Regional y la Unidad de Gestión Educativa Local – Lambayeque prohibieron el uso de la infraestructura por poner en peligro a los alumnos y docentes debido a los daños causados a la infraestructura.

Mediante los trabajos de campo se identificó la zona de arranque del deslizamiento con procesos retrogresivos con la presencia de dos escarpes ubicados ladera arriba, los flujos de lodo se formaron debido al agua de escorrentía que fluye libremente por la ladera hasta entrar en contacto con los sedimentos y materiales limos arcillosos.

Finalmente, se ha determinado que la geodinámica de la zona de estudio se encuentra en estado inactivo o intermitente conservando los factores condicionantes inestables que en presencia de lluvias intensas pueden reactivarse.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el año 2017 el Perú fue golpeado por lluvias intensas acompañadas de un incremento de las temperaturas del mar en la costa peruana, la relación entre las precipitaciones en la costa al norte y centro del país y el proceso de calentamiento propio del “Niño” fue denominado como “Niño Costero”, término introducido formalmente por la Comisión Multisectorial encargada del Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN). Estas condiciones climáticas produjeron inundaciones debido al desborde de los ríos y quebradas que afectaron extensas áreas en los relieves llanos y deslizamiento y flujos de lodos en la parte media de las cuencas.

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), brinda a los gobiernos regionales y locales asistencia técnico científica a través de la evaluación de Peligros Geológicos de zonas críticas expuestas a procesos geodinámicos con el objetivo de contribuir con el desarrollo sostenible del país en el ámbito geológico. Es así que, la Municipalidad Provincial de Lambayeque solicitó mediante Oficio N° 054-2019-OCI-AC-MPL-DMPD la evaluación de peligros geológicos y fallas geológicas de la localidad de Colaya que puedan afectar a la Institución Educativa N° 10061.

El INGEMMET y la DGAR designaron al Ing. Cristhian Chiroque para realizar la inspección geológica, geomorfológica y geodinámica de los procesos de remoción en masa ocurridos en la zona de estudio. En la primera etapa se recopilaban los antecedentes como fichas de emergencia, descarga de imágenes satelitales que sirvieron para realizar la fotointerpretación del evento ocurrido en el centro poblado Colaya. Mediante los trabajos de campo se identificaron los depósitos aluviales y afloramientos de rocas, las geoformas del relieve y los tipos de peligros geológicos

Este informe detalla la interpretación geológica y geodinámica de los eventos estudiados y las conclusiones y recomendaciones que servirán a las autoridades solicitantes para tomar las medidas correctivas pertinentes.

## 2. ANTECEDENTES

Se han recopilado todos los informes y reportes que abarquen los aspectos geodinámicos de la zona de estudio, los cuales se mencionan a continuación:

- Geología de los Cuadrángulos de Jayanca, Incahuasi, Cutervo, Chiclayo, Chongoyape, Chota, Celendín, Pacasmayo y Chepén (Wilson, 1995). El estudio abarcó las regiones de La Libertad, Amazonas y Lambayeque describe secuencias de la Formación Goyllarisquizga del Cretáceo Inferior conformada por areniscas y cuarcitas blanquecinas y marrones, el Complejo Olmos comprende una secuencia de rocas metamórficas esquistos que se prolongan al norte de la hoja de Jayanca y cuerpos intrusivos de tonalitas.
- Boletín “Riesgo Geológico en la Región Lambayeque” (Villacorta et al., 2010). En el informe se destaca que la zona de estudio tiene una susceptibilidad media a alta a la ocurrencia de movimiento en masa.
- Evaluación geológica de las zonas afectadas por el Niño Costero 2017 en las regiones de Lambayeque-Cajamarca (Núñez et al., 2017). El estudio describe deslizamientos en el centro poblado Colaya y alrededores incluyendo el ocurrido el 25 de marzo que afectó la I.E. 10061 Colaya.
- Peligros Geológicos y Geo-Hidrológicos detonados por el Niño Costero 2017 en las regiones Lambayeque-Cajamarca: Análisis geológico, geomorfológico y de peligros en el sector Jayanca-Pacora-Illimo afectados por inundación fluvial (Núñez et al., 2017). En el informe se describe el deslizamiento de tipo rotacional

desarrollado sobre sedimentos compuestos por limo arcillas de color rojizo y que afecto a la Institución Educativa N° 10061 Colaya.

### 3. ASPECTOS GENERALES

#### 3.1. Ubicación

El centro poblado Colaya pertenece al distrito de Salas en la provincia y región Lambayeque, el predio donde se construyó la Institución Educativa 10061 Colaya se ubica a 200 m de la zona urbana del poblado en la carretera Colaya-Corral de Piedra (figura 01). Las coordenadas centrales del área de inspección con referencia al centroide del deslizamiento son WGS84-17S 665114E, 9327838N a una altitud promedio de 1330 m s.n.m.

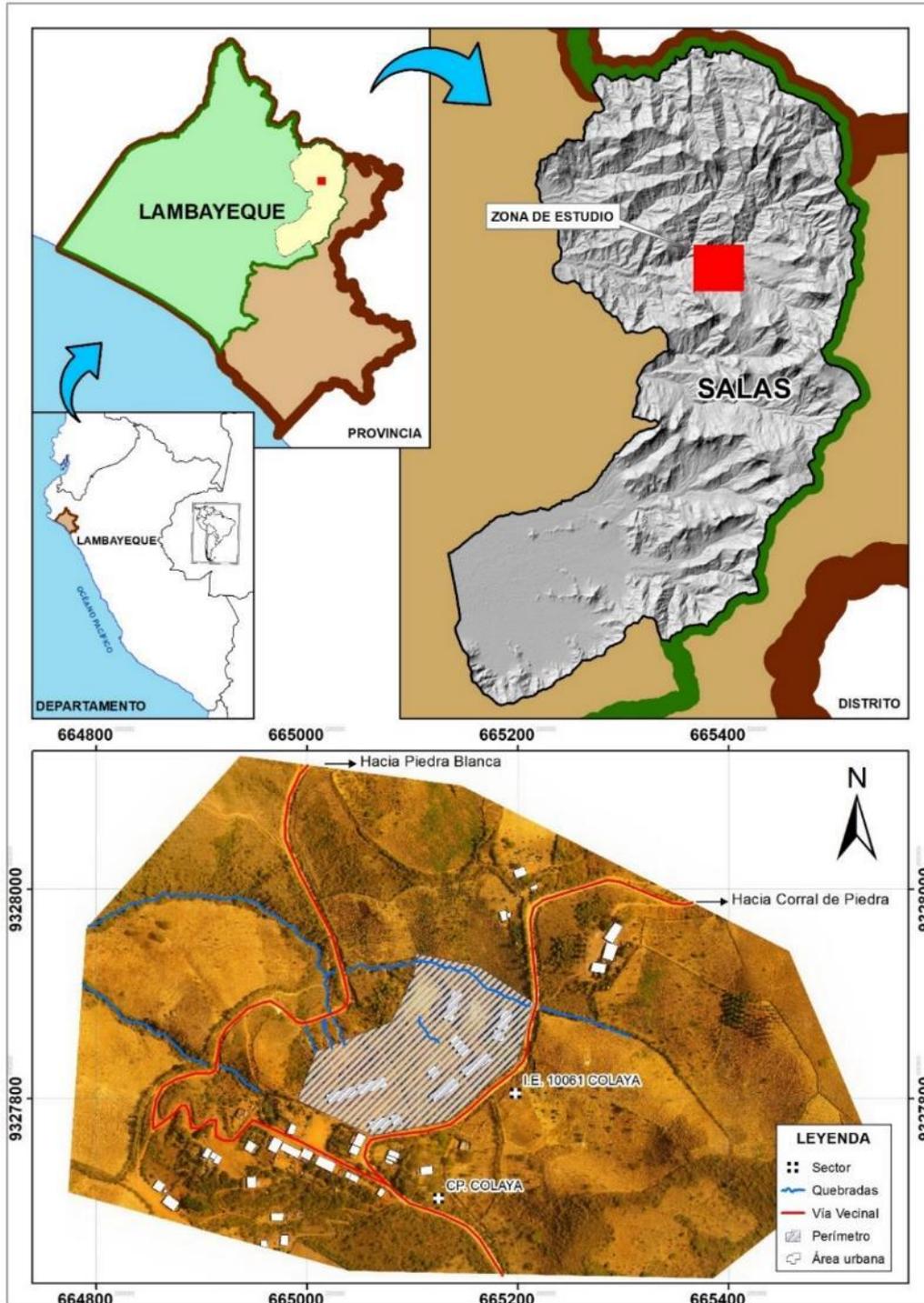


Figura 01. Ubicación de la zona del deslizamiento y flujo en el CP. Colaya.

### 3.2. Accesibilidad

El punto de partida del equipo de trabajo se realizó desde la ciudad de Piura a Lambayeque, para luego tomar la ruta hacia Motupe a través de una vía asfaltada, luego tomamos el desvío a Coloya con dirección noreste hasta el centro poblado El Arrozal. Desde este punto, nos dirigimos a Coloya a través de una trocha carrozable en regular estado, el recorrido total se realiza en 6 horas y 40 minutos (Cuadro 01).

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

Ruta	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Piura – Lambayeque	Asfaltada	3 h 20 min
Lambayeque – Motupe	Asfaltada	1 h 20 min
Motupe desvío a Coloya	Trocha	2 h

## 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La zona de estudio se encuentra en el extremo noreste del cuadrángulo geológico de Jayanca (13-d) a escala 1:100 000 (Wilson, et al. 1984) (figura 02).

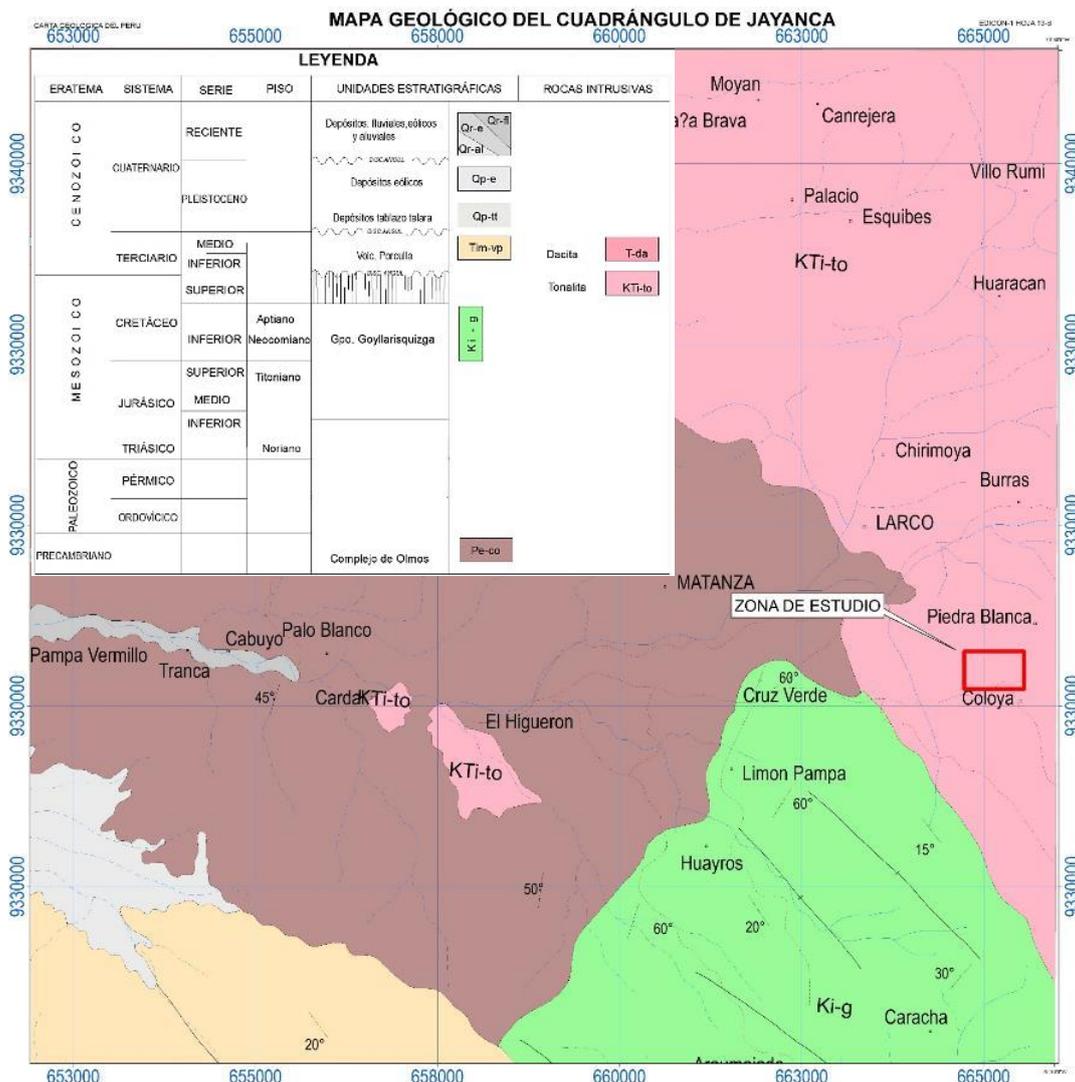


Figura 02. Geología a escala regional del cuadrángulo de Jayanca y la zona de estudio en el centro poblado Coloya.

Los afloramientos identificados en la zona de estudio están conformados principalmente por cuerpos intrusivos de tonalitas, granodioritas y granitos lo que otorga el aspecto blanquecino debido a las areniscas y limolitas que se originan de la erosión de estas rocas preexistentes. La cobertura aluvial de aspecto rojizo puede estar influenciada por la Formación Goyllarisquiza e Inca conformada por areniscas y arcillitas de color marrón rojizo.

La litología descrita da origen a sedimentos poco consolidados de areniscas y limos con faces detríticas de antiguos deslizamientos que son susceptibles a erosión por escorrentía superficial.

## 5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

A nivel regional el origen de las geofomas es el resultado de procesos de levantamiento y subsidencia de grandes paquetes de rocas y sedimentos que sucedió con el inicio de la denominada Orogenia Andina, la interacción de los agentes meteorológicos de la zona modeló el relieve que hoy conocemos y sobre el cual se han desarrollado los eventos de geodinámica evaluados. Para complementar el análisis de la geomorfología de la zona de estudio se recopilieron imágenes satelitales y se elaboraron modelos digitales de elevaciones y mapa de pendientes.

### 5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

El deslizamiento del cerro Colaya tiene el escarpe principal o zona de arranque a una altitud de 1403 m s.n.m., con procesos retrogresivos que llegan a 1415 m s.n.m; la zona de estudio alcanza la máxima altitud al este de la Institución Educativa con 1530 m s.n.m.; mientras que, las elevaciones más bajas se encuentran al oeste con 1288 m s.n.m. (figura 03).

### 5.2. Mapa de Pendientes

La Institución Educativa 10061 Colaya se asienta sobre una ladera con pendientes que sobrepasan los 30°; mientras que, los cortes realizados para la cimentación y construcción de las estructuras como aulas, pabellones, servicios higiénicos tienen pendientes que superan los 40° (figura 04).

**Tabla 01: Rangos de pendientes del terreno**

PENDIENTE EN GRADOS (°)	CLASIFICACIÓN
<5	Muy baja
5 - 20	Baja
20 - 35	Media
35 - 50	Fuerte
>50	Muy fuerte

Fuente: Fidel et al. (2006)

Las pendientes en la ladera este del cerro Colaya han condicionado el factor de erodabilidad de las superficies, en donde se observan cárcavas y surcos de hasta 2.5 m de profundidad debido al agua de escorrentía y la pendiente.

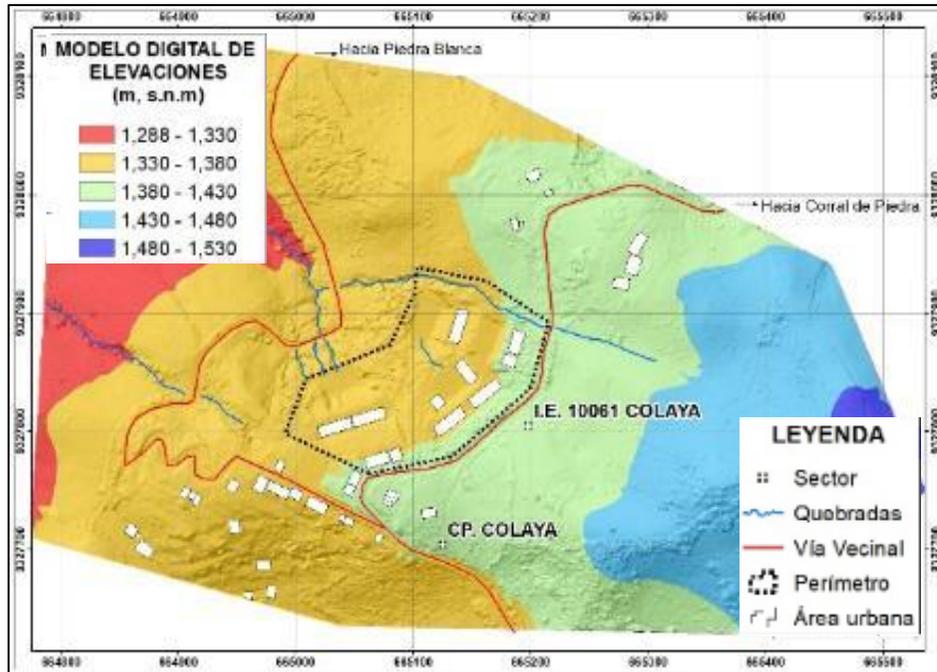


Figura 03. Modelo digital de elevaciones (MDE).

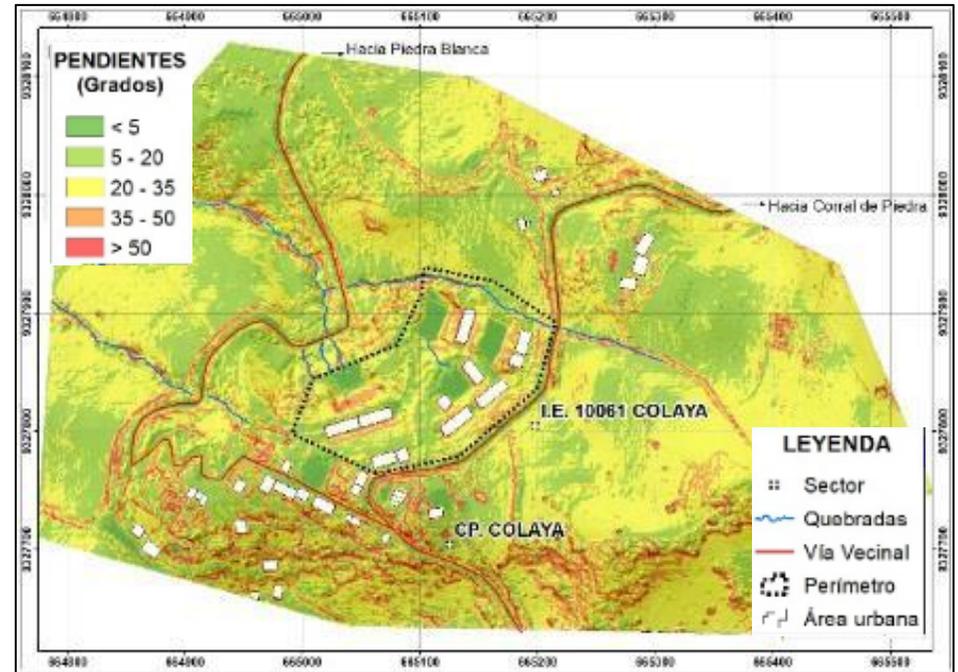


Figura 04. Mapa de pendientes.

Según la geomorfología a escala regional contenida en el GEOCATMIN, la zona de estudio se asienta sobre una montaña en roca intrusiva, rodeada de montañas en rocas sedimentarias y metamórficas desde donde descienden vertientes o piedemontes aluvio-torrenciales.

### 5.3. Unidad de Montañas

Una montaña es una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, subaguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas, presentan un pendiente promedio superior al 30%. Interviene una característica de disección de la masa montañosa, con importantes desniveles internos entre la montaña, como, por ejemplo: cañones, escarpes, lomas, planos inclinados coluviales (Glacis), vallecitos y superficies aplanadas (mesas) de antiguos relieves colindados (Zinck 1987, citado por MAGA 2010).

#### a) Subunidad de Montaña estructural en roca intrusiva (RM-ri)

Esta geoforma abarca gran parte del área de estudio, el centro poblado Colaya y la I.E 10061 del mismo nombre se ha construido sobre una montaña de relieves escarpados con pendientes mayores a 30° y que alcanzan elevaciones de 2300 m s.n.m, que se desarrollan sobre rocas ígneas conformadas por tonalitas (figura 05).

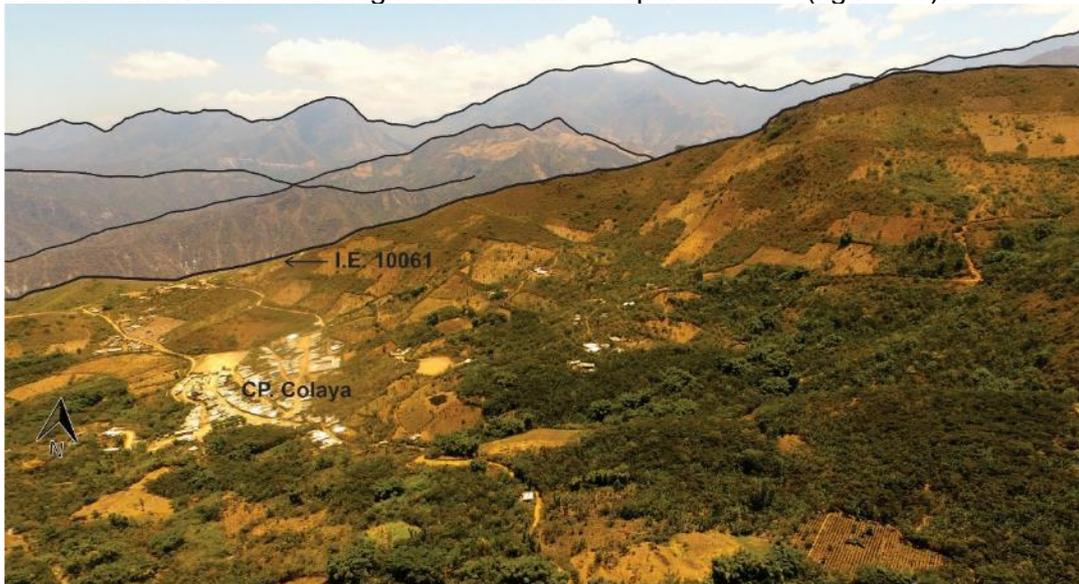


Figura 05. Al norte del centro poblado Colaya también se observan montañas con cimas agudas y relieves agrestes.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS Y GEOHIDROLÓGICOS

Los movimientos en masa son parte de los procesos denudativos que modelan el relieve de la tierra. Su origen obedece a una gran diversidad de procesos geológicos, hidrometeorológicos, químicos y mecánicos que se dan en la corteza terrestre. La meteorización, las lluvias, los sismos y otros eventos (incluyendo la actividad antrópica) actúan sobre las laderas desestabilizándolas y cambian el relieve a una condición más plana (Proyecto Multinacional Andino, 2007).

El INGEMMET como institución técnico científica realiza la cartografía geológica a nivel nacional y el estudio de los peligros geológicos tales como los procesos por remoción en masa que puedan afectar áreas urbanas, servicios, infraestructura, etc.

Para caracterizar los eventos geodinámicos ocurridos en el centro poblado Colaya y la Institución Educativa N° 10061 del mismo nombre, se realizaron los trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas, ortofotos y modelos digitales de terreno.

### 6.1. Definición de deslizamientos

Según la Guía para Evaluación de Amenazas de Movimientos en Masa en la Región Andina (PMA, 2007), los deslizamientos son movimientos ladera abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante (figuras 06 y 07).

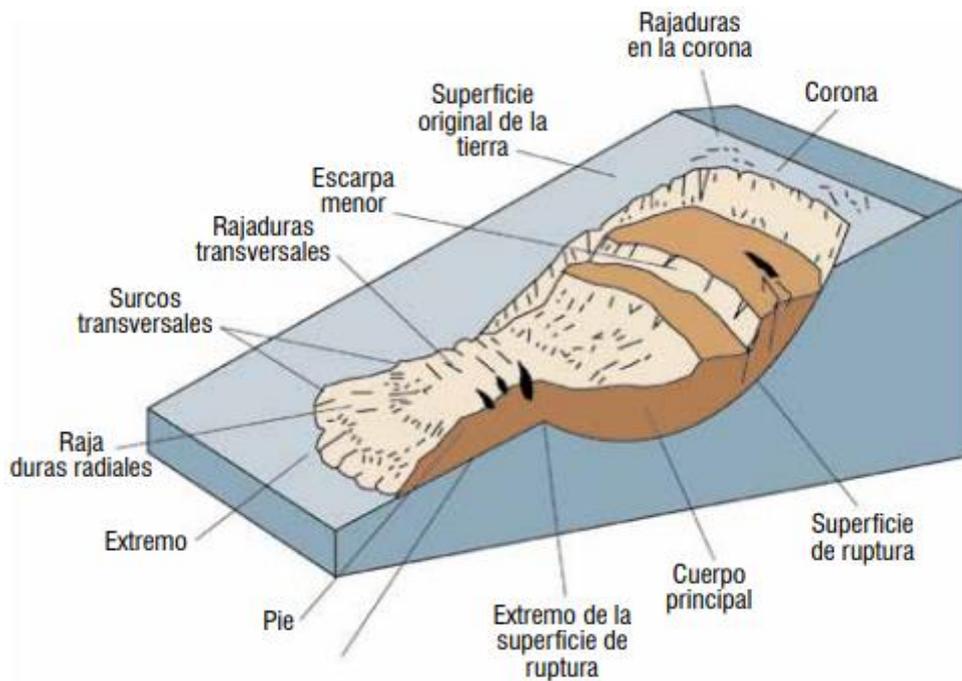


Figura 06. Deslizamiento de tipo rotacional, Adaptado de USGS (2008), GEMMA: PMA-GCA (2007).

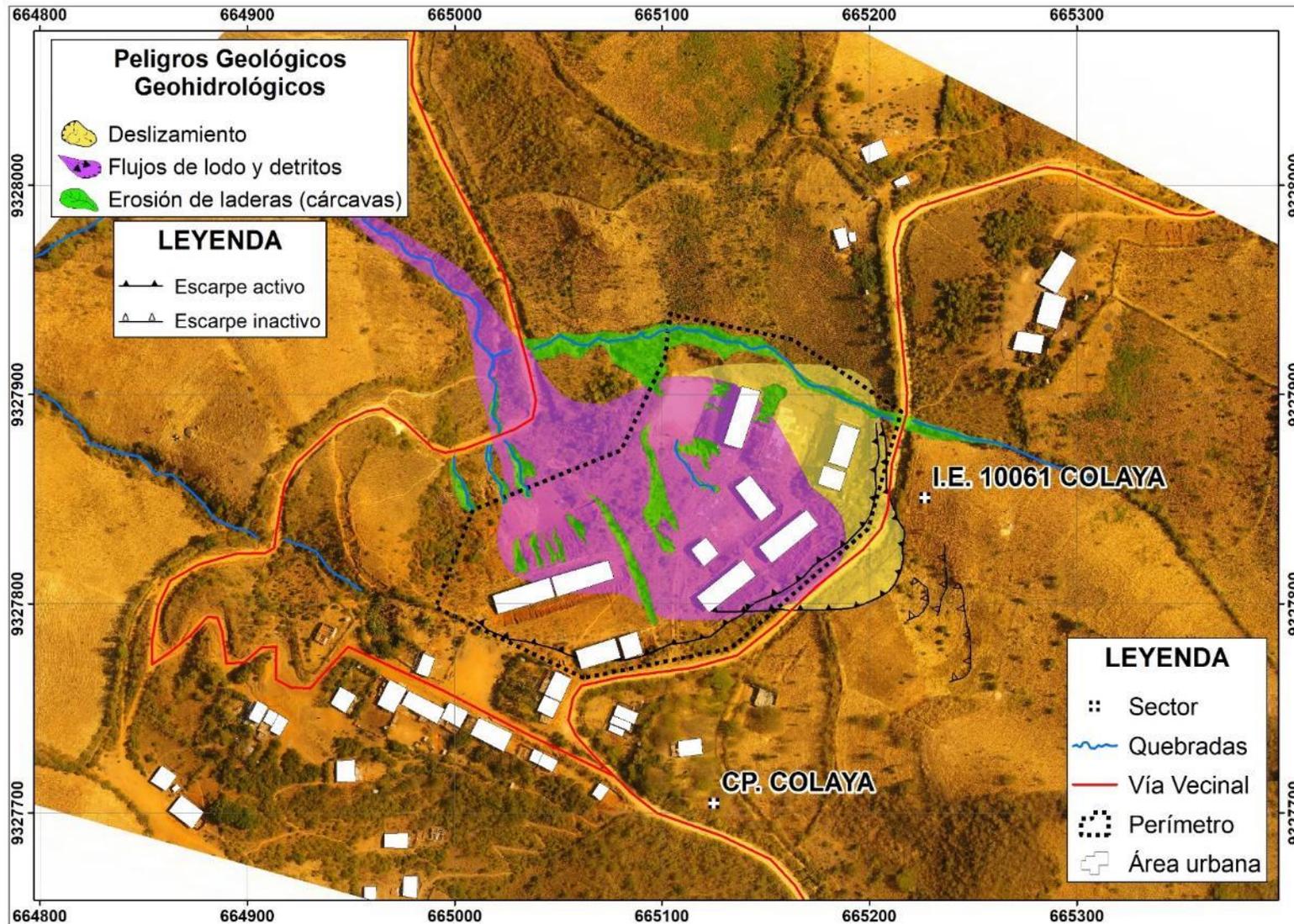


Figura 07. Mapa de Peligros Geológicos de Naranjos Alto y el sector Limoncito.

## 6.2. Deslizamiento en el Centro Poblado Colaya

En los trabajos de campo se identificaron los procesos y factores condicionantes que intervinieron en la ocurrencia de movimientos en masa, definiendo las áreas y tiempos de desarrollo de estos eventos. A continuación, se detalla la caracterización geodinámica desde el punto de vista geológico y geomorfológico, así como, los factores desencadenantes del deslizamiento:

### a) Escarpe principal

El escarpe principal del deslizamiento que afectó la infraestructura de la I.E. 10061 Colaya se ubica a 26 m ladera arriba del perímetro, conformada por varios tramos que alcanzan una longitud total de 170 m.

Se han identificado grietas longitudinales o paralelas a la corona que se originan por tensión o tracción, estas podrían formar nuevos escarpes de falla activados por lluvias intensas o sismos.

Para complementar los trabajos de campo se utilizó la ortofoto de alta resolución para delimitar con mayor precisión la geometría del deslizamiento y los escarpes (figuras 08 y 09).



Figura 08. Vista lateral de zonas con procesos retrogresivos.



Figura 09. Vista del escarpe principal del deslizamiento de la I.E. 10061 Colaya.

**b) Procesos retrogresivos**

Ladera arriba del escarpe principal se identificaron grietas y escarpes en formación que representan procesos retrogresivos del deslizamiento, los desniveles varían de pocos centímetros a 1 m en promedio, estas grietas podrían formar nuevas superficies de falla de deslizamiento con lluvias que sobrepasen los parámetros normales de la zona (figura 10).

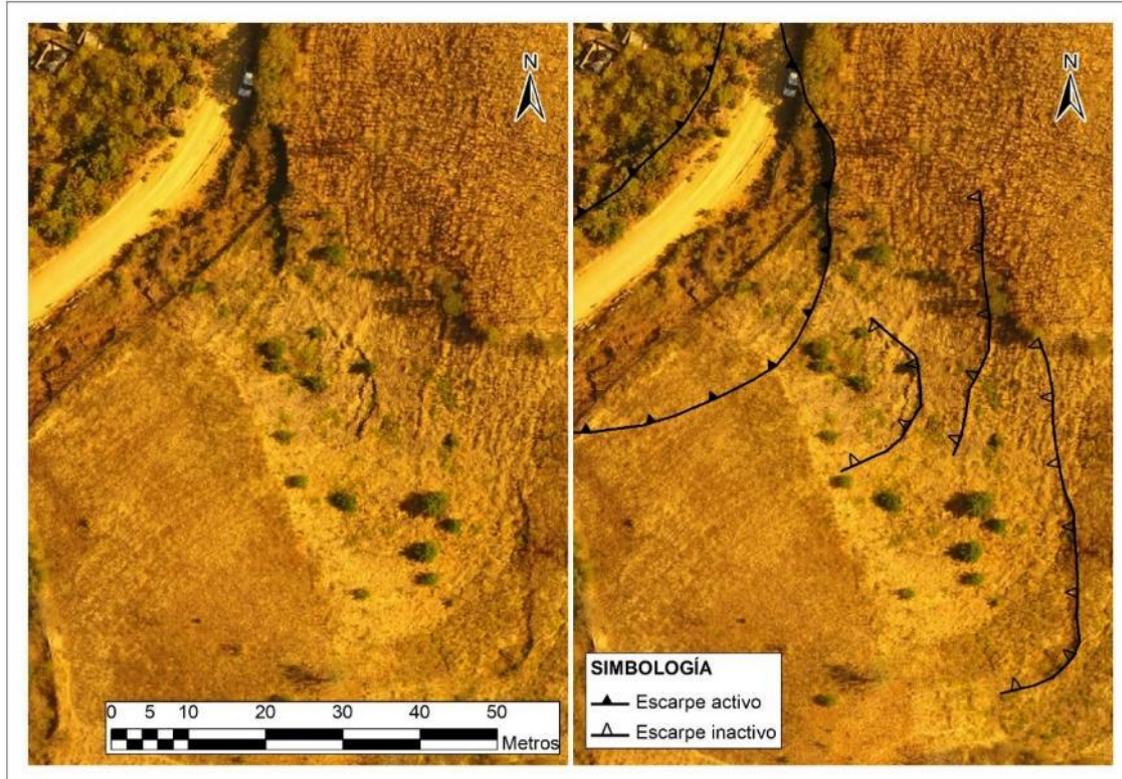


Figura 10. Ortofoto de alta resolución en donde se pueden observar los procesos retrogresivos ladera arriba.

**c) Escarpe secundario**

El escarpe secundario mide 240 m de largo y se dividen en varios tramos con dirección norte a sur y de noreste a suroeste, los saltos de falla tienen desplazamientos de 10 a 30 cm hasta 1 m ladera abajo (figura 11).

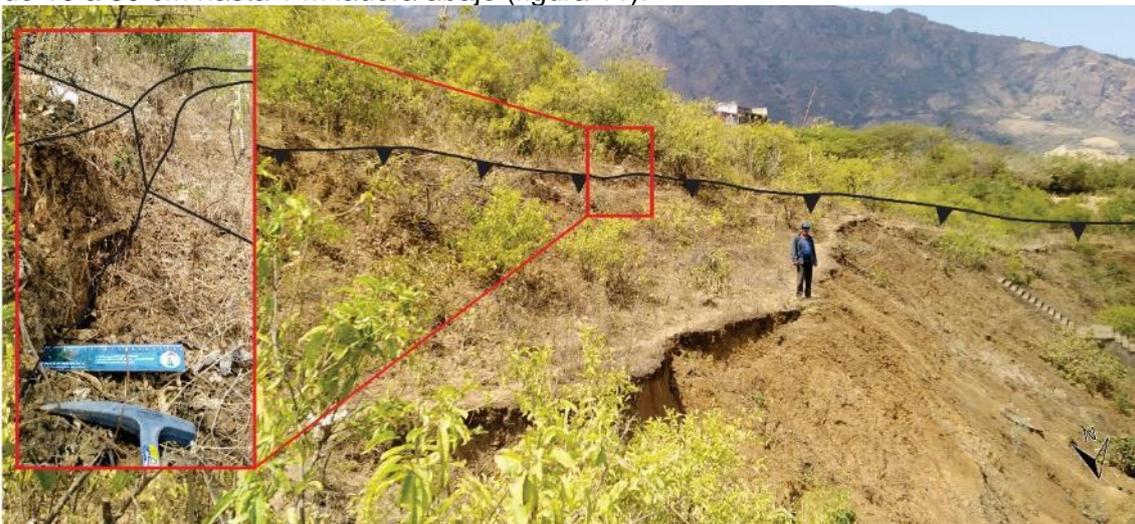


Figura 11. Escarpe secundario dentro del perímetro de la I.E. 10061 Colaya.

La corona, el escarpe principal y secundario tienen forma semicircular, el desplazamiento de la ladera y los materiales próximos al perímetro afectó las escaleras de acceso al primer conjunto de pabellones desplazándolas hasta 2.5 m, el empuje también afectó los muros de contención de hasta 0.40 cm de espesor y 1.5 m de altura aproximadamente (figuras 12 y 13).



Figura 12. Vistas del escarpe principal del deslizamiento con diferentes alturas.



Figura 13. Escaleras y muro de contención de concreto afectados por el deslizamiento.

Los muros de contención fueron cimentados con el objetivo de evitar o contrarrestar el empuje de los materiales, los esfuerzos horizontales fueron mayores provocando el desplazamiento de los muros producto del deslizamiento.

Debido a que no se observa en superficie el talón o puntera del muro es difícil determinar el tipo de estructura emplazada, estas se apoyan sobre la zapata impidiendo el giro en la base y el empuje activo observado ha generado en el muro de contención y demás estructuras de los pabellones como lozas de concreto, muros de cajas de distribución de electricidad sufran hundimiento y vuelcos.

**d) Cuerpo del deslizamiento**

El cuerpo del deslizamiento está delimitado por el escarpe principal y el pie, el primero define la zona de arranque y el material desplazado y el segundo la zona de depositación y llegada de los sedimentos (ver figura 06). En el deslizamiento que afectó a la Institución Educativa N° 10061 Colaya no se ha definido el pie del deslizamiento o zona de depositación, debido probablemente a los muros de contención ubicados en la primera y segunda fila de pabellones que contrarrestaron los empujes provocados por el escarpe principal y secundario dejando daños en las estructuras (figura 14).

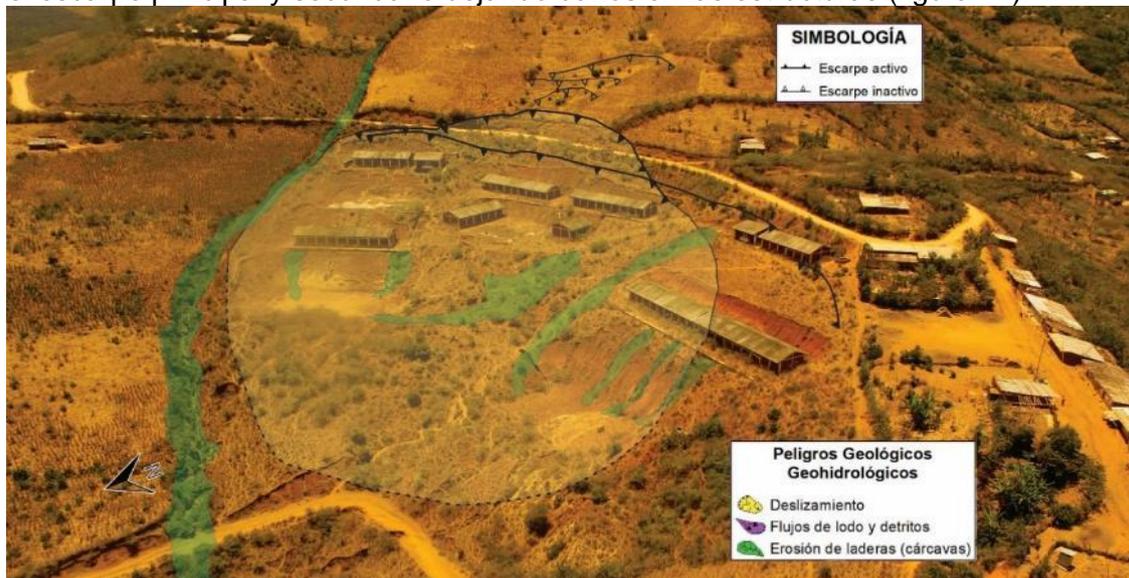


Figura 14. Vista aérea del deslizamiento y las zonas afectadas por el deslizamiento y flujos.

**6.3. Flujo de lodos**

La ocurrencia de los flujos se relaciona a varios factores como lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales y la ausencia de vegetación considerado como un factor influyente; sin embargo, no es un pre requisito para que ocurran. Para clasificar los flujos se toma en cuenta las propiedades físicas de los materiales como la parte granular y la acuosa analizando la viscosidad y turbulencia del flujo, así, se asignan nombres como: flujos de lodo, flujos hiperconcentrados y flujos de residuos (figura 15).

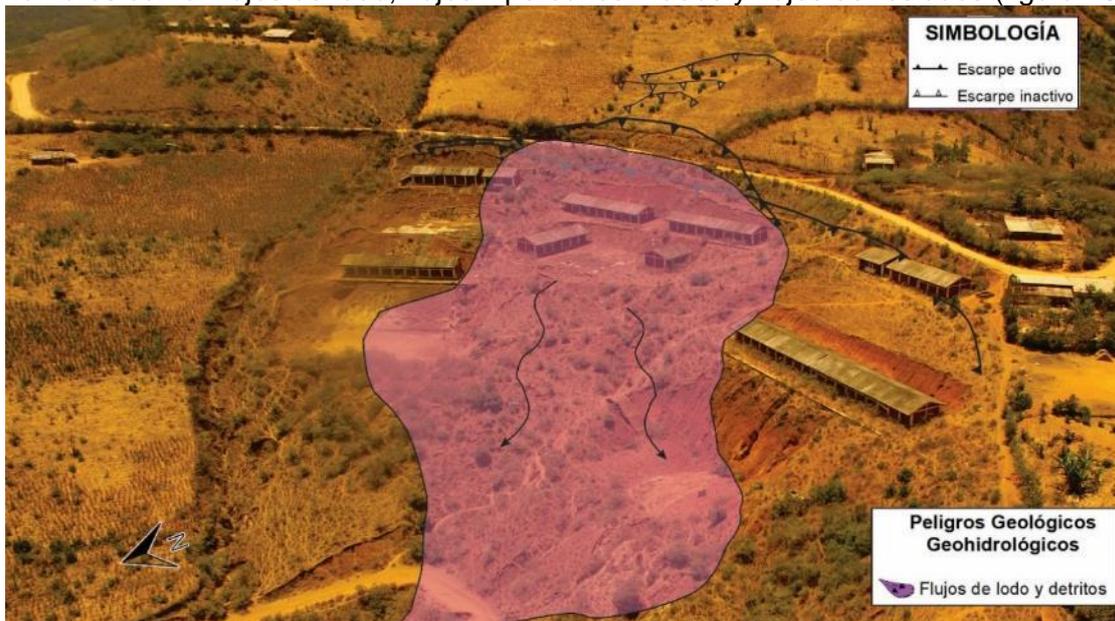


Figura 15. Vista aérea donde se delimita el flujo de lodos.

Generalmente, los flujos de lodo consisten en altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas) y aportes de arenas, aunque también pueden transportar grandes bloques o cantos de roca dependiendo de la densidad del material. De hecho, los flujos de esta naturaleza se desarrollan con varias pulsaciones o frentes de ondas.

El 25 de febrero del 2017, debido a las intensas precipitaciones ocurridas durante el Niño Costero se generó un flujo de lodos que afectó la I.E. 10061 Colaya, los materiales y sedimentos transportados alcanzaron en algunos sectores hasta 1 m de altura, este descendió desde la parte alta teniendo como fuente el deslizamiento y arrastrando materiales a media ladera (figura 16).

Los sedimentos, el agua proveniente de la quebrada ubicada al norte del perímetro y las intensas lluvias formaron el flujo que finalmente se depositó en el interior de algunas aulas y las losas deportivas ubicadas ladera abajo (figura 17).



Figura 16. Depósitos de hasta 1m de altura que pasó por entre las aulas y causó daños estructurales en columnas y paredes.



Figura 17. Aulas afectadas por flujos de lodo en donde el material ingreso por las ventanas.

## 6.4. Erosión de laderas

Ellison (1947), citado por Hudson (1982), define la erosión como el proceso de separación, transporte y depósito de los materiales del suelo por los agentes causantes, tales como la lluvia, el viento y el hombre. De acuerdo con el agente, la erosión se puede clasificar en eólica, fluvial, glaciaria, marina y pluvial.

La erosión de los suelos, está gobernada por la Ecuación Universal de erosión propuesta por Wischmeier y Smith, 1978 (figura 18), donde la Erosión, es una función de factores activos, pasivos y atemperantes. Los factores activos, corresponden a las lluvias, conocida como factor erosividad (R), también influyen como factores activos, el viento y el hombre con sus actividades agropecuarias, ingenieriles y de minería. El factor pasivo (K), se relaciona con el suelo, el cual, con sus características físicas, químicas y biológicas intrínsecas, puede presentar características naturales de susceptibilidad o resistencia del suelo a la erosión. Dentro de los factores pasivos, también se pueden considerar el Grado (S) y Longitud (L) de la pendiente del terreno. Como factores atemperantes, se tienen el Cultivo (C) y las Prácticas preventivas de Conservación de Suelos (P).

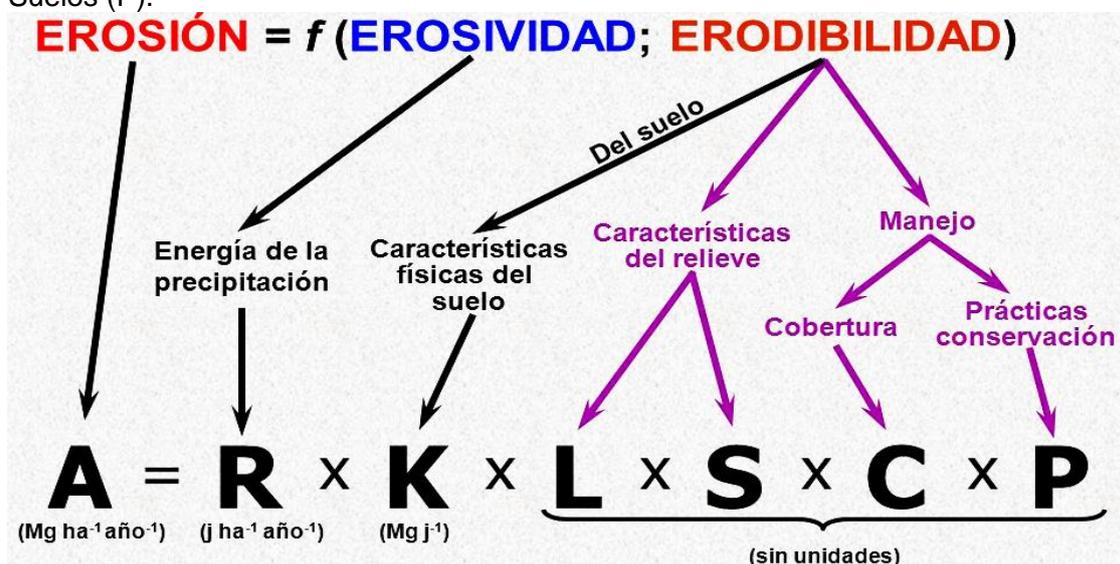


Figura 18. Ecuación de pérdida de suelo más conocida como USLE.

Los factores que influyen en el cálculo de pérdida de suelo debido a la erosión están relacionados a los factores condicionantes tales como la litología o tipos de cobertura Cuaternaria, pendiente y uso de suelo, además del principal factor detonante de la mayoría de los peligros geológicos y geohidrológicos como los deslizamientos, flujos de lodo y erosión de laderas es el agua en forma de lluvias o escorrentía.

### a) Cárcavas

Las cárcavas son zanjas más o menos profundas originadas por socavamientos repetidos sobre el terreno, debido al flujo incontrolado del agua que escurre ladera abajo (agua de escorrentía). Cuando las cárcavas evolucionan con crecimiento hacia arriba y hacia los lados de la ladera, toman el nombre de cárcavas remontantes (Federacafé, 1975). La presencia de cárcavas en un terreno indica un grado avanzado de degradación, ya que la mayoría de las veces se inician luego de la pérdida superficial del suelo por efecto del impacto de las lluvias, destrucción de los agregados naturales del suelo, la erosión laminar y en surcos, como consecuencia del uso y manejo inadecuado de los suelos y ausencia de prácticas preventivas de conservación, o por la construcción de vías sin obras adecuadas para conducción de aguas de escorrentía y por descargas de caudales altos de agua sobre taludes inferiores sin disipación de su energía cinética. Uno de los factores que influyó en el inicio y avance de la erosión

en la ladera donde se ubica la I.E. 10061 Colaya fue el trabajo de nivelación y terraceo que se realizó para la cimentación de las estructuras como las aulas, baños y lozas de concreto (figura 19).

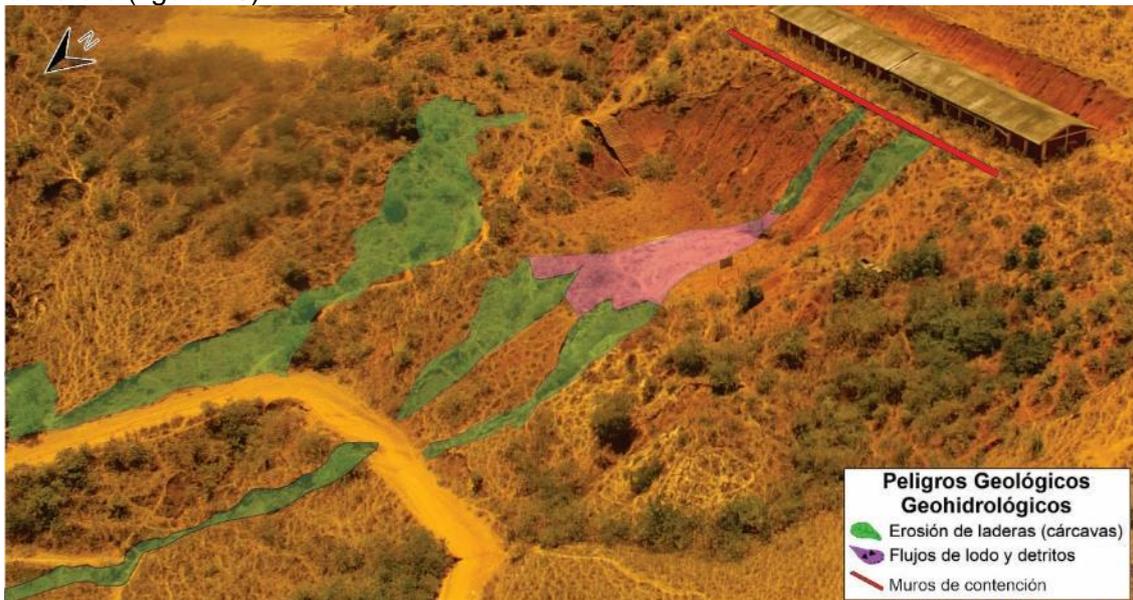


Figura 19. Zonas de erosión que afectan los muros de contención.

Una de las limitantes principales en el control de cárcavas remontantes son los costos en su control cuando la solución se enfoca hacia la ingeniería convencional con estructuras de concreto y por el desconocimiento de otras soluciones alternativas, más eficientes, eficaces y de menor costo, como son los tratamientos de tipo biológico, utilizando los recursos existentes en el entorno, zona urbana o área de influencia al problema. Las cárcavas identificadas afectan los muros de contención dejando en evidencia el talón o base hasta 1.5 m de profundidad, en algunos sectores también hay asentamientos que han producido basculamientos en losas, muros y escaleras (figuras 20 y 21).

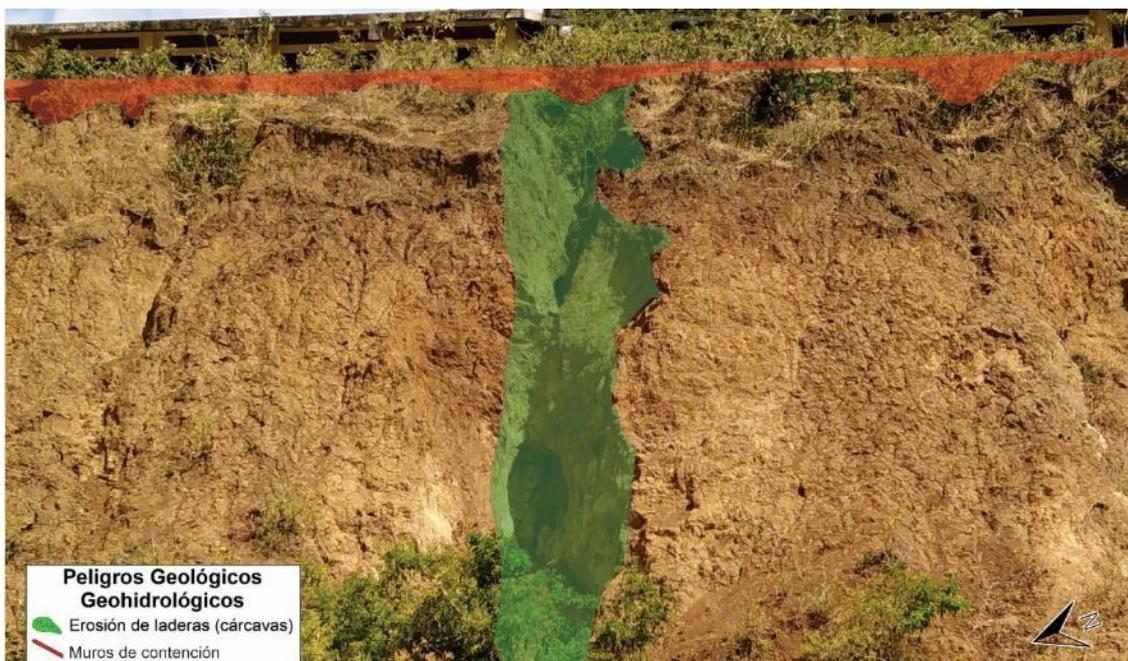


Figura 20. Vista del talud donde predominan materiales sedimentarios conformados por arenas limosas.



Figura 21. Muros de contención expuestos debido a la erosión.

## 7. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

Los factores que influyen en la ocurrencia de los movimientos en masa; están relacionados a los tipos de materiales y sedimentos que constituyen la cobertura cuaternaria de una ladera; junto con la pendiente, las geoformas del relieve y otros; constituyen los factores condicionantes. Mientras que, las precipitaciones pluviales son consideradas el principal factor desencadenante como sucedió durante el Niño Costero.

En este ítem se determinan y describen los factores que intervinieron en la ocurrencia del deslizamiento y flujo de lodos en el predio de la I.E. 10061 Colaya.

### 7.1. Factores condicionantes

#### a) Litología y depósitos Cuaternarios

Los principales afloramientos en la zona de estudio están conformados por tonalitas, granodioritas y granitos con características físico mecánicas susceptibles a la erosión, con bajo de dureza, es decir ofrecen poca resistencia a la penetración, abrasión, el rayado, la cortadura y las deformaciones. Al erosionarse, estas rocas dan origen a sedimentos de areniscas y limolitas que en contacto con otros tipos de materiales forman una cobertura aluvial poco compacta (figura 22).



Figura 22. Materiales y sedimentos aluviales de limos y arenas.

**b) Pendientes**

La geofomas predominantes en la zona de estudio están conformadas principalmente por montañas cuyas laderas presentan pendientes que sobrepasan los 30°, tomando en cuenta que para la construcción de los pabellones, aulas y losas deportivas también se modificaron los cortes en talud llegando a pendientes de 45° (figuras 23 y 24).

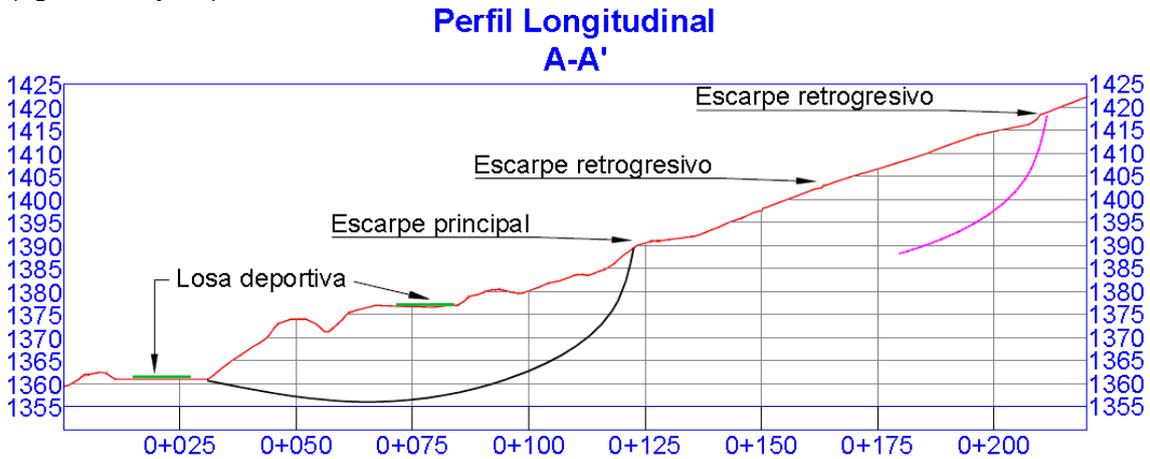


Figura 23. Perfil longitudinal del modelo digital de terreno del deslizamiento de Colaya.



Figura 24. Vista de perfil con cortes de talud superior a 40° modificados para el emplazamiento de las estructuras, fotografía tomada antes del Niño Costero 2017 (proceso de construcción).

**7.2. Factores desencadenantes**

**a) Precipitaciones pluviales en el “Niño Costero”**

El fenómeno El Niño es un calentamiento de la superficie de las aguas del Pacífico que afectan directamente el Sureste Asiático, Australia y Sudamérica. Este se caracteriza por el ingreso de una masa superficial de aguas cálidas en el mar, desde el norte en el caso del Perú, y que genera un aumento de la temperatura del mar, afectando la pesca, además de intensas lluvias y también sequías.

En enero de 2017 las aguas de la costa peruana se calentaron rápidamente. Las tormentas costeras en las zonas bajas llevaron lluvias intensas a zonas de elevación mucho más bajas de lo normal. Los ríos y arroyos que suelen estar secos se inundaron rápidamente. Episodios de lluvia constante, inundaciones y deslizamientos de tierra

afectaron a muchos centros poblados, desde Ica hasta la frontera norte con Ecuador, prolongándose varios meses.

El periodo de diciembre 2016 a mayo del 2017 calificó formalmente como el “El Niño Costero” de magnitud moderada. Este evento presentó características y/o mecanismos océano-atmosféricos particulares, tanto a escala global como local (a diferencia de los eventos de 1982-1983 y 1997-1998); sin embargo, es comparable con el evento El Niño del año 1925 – 1926.

Por los impactos, asociados a las lluvias e inundaciones, este evento “El Niño Costero 2017” se puede considerar como el tercer “Fenómeno El Niño” más intenso de al menos los últimos cien años para el Perú (IDESEP-SENAMHI, 2017).

El deslizamiento y flujo en el sector Colaya ocurrió el 25 de febrero del 2017, para establecer el umbral aproximado de precipitaciones en la zona de estudio se localizaron las estaciones meteorológicas más cercanas, los datos son tomados como referencia debido que carecen de un control de calidad; sin embargo, ayudan a establecer el comportamiento temporal y espacial de las mismas, la variación más importante es la ubicación geografía de las mismas siendo las siguientes (Cuadro 02 y figura 25).

**Cuadro 02.** Estaciones meteorológicas próximas a la zona de estudio.

Estación : MOTUPE					
Departamento :	LAMBAYEQUE	Provincia :	LAMBAYEQUE	Distrito :	MOTUPE
Coordenadas Geográficas					
Latitud :	6°4'.9"	Longitud :	79°40'55.3"	Altitud :	191 m s.n.m.
Coordenadas UTM					
Este :	645862	Norte :	9328972	Altitud :	191 m s.n.m.
Tipo :	EMA - Meteorológica	Código :	47201542		

Estación : CUEVA BLANCA					
Departamento :	LAMBAYEQUE	Provincia :	FERREÑAFE	Distrito :	INCAHUASI
Coordenadas Geográficas					
Latitud :	6°7'52.68"	Longitud :	79°24'16.2"	Altitud :	3300 m s.n.m.
Coordenadas UTM					
Este :	676559	Norte :	9322039	Altitud :	3300 m s.n.m.
Tipo :	PLU - Meteorológica	Código :	106060		

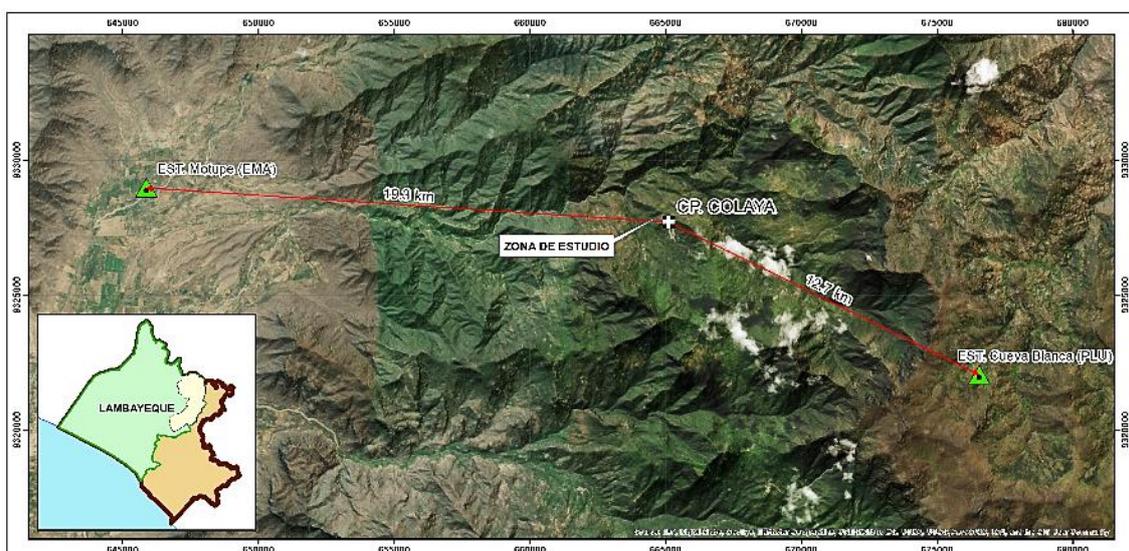


Figura 25. Ubicación de estaciones analizadas para la zona de estudio.

Los datos muestran que ambas estaciones registraron presencia de lluvias en el mes de febrero del 2017, destacando una tendencia de lluvias que se incrementan a partir del día 20 al 28 de febrero. La Est. Motupe ubicada a 191 m s.n.m, registro un pico de 13.8 mm el 25 de febrero mientras que, la Est. Cueva Blanca ubicada a 3300 m s.n.m registró 16.9 y 1.8 mm los días 24 y 25 de febrero respectivamente (figuras 26 y 27).

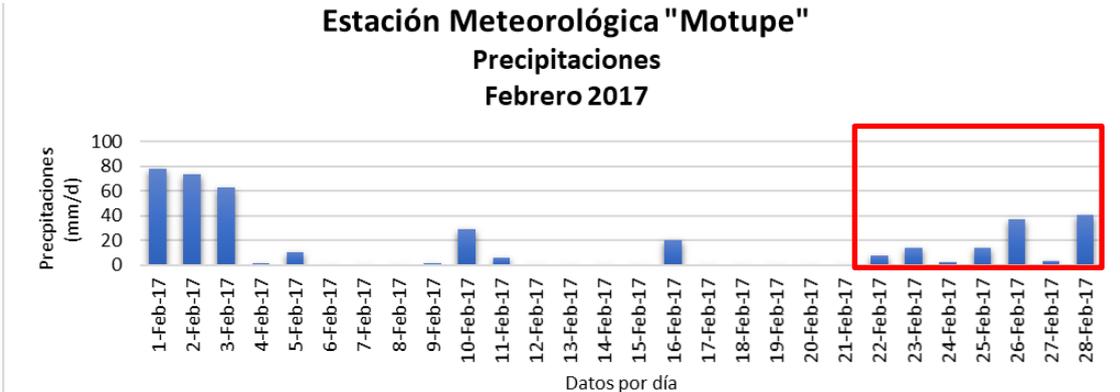


Figura 26. Precipitaciones de la estación Motupe ubicada al oeste del C.P. Colaya.



Figura 27. Precipitaciones de la estación Cueva Blanca ubicada al este del C.P. Colaya.

### 7.3. Daños

#### a) Muros de contención y aulas

Las principales infraestructuras afectadas por el deslizamiento fueron los muros de contención que sufrieron volcamientos, los pabellones de aulas y losas de concreto, las primeras sufrieron el empuje causado por el material desplazado del escarpe principal y cuerpo del deslizamiento, en algunos puntos este empuje origino también movimientos de levantamiento y subsidencia que causo basculamientos en columnas, muros, paredes y veredas (figuras 28, 29 y 30).



Figura 28. Muros de contención y aulas en donde el flujo de lodo alcanzo hasta 10 cm de altura.

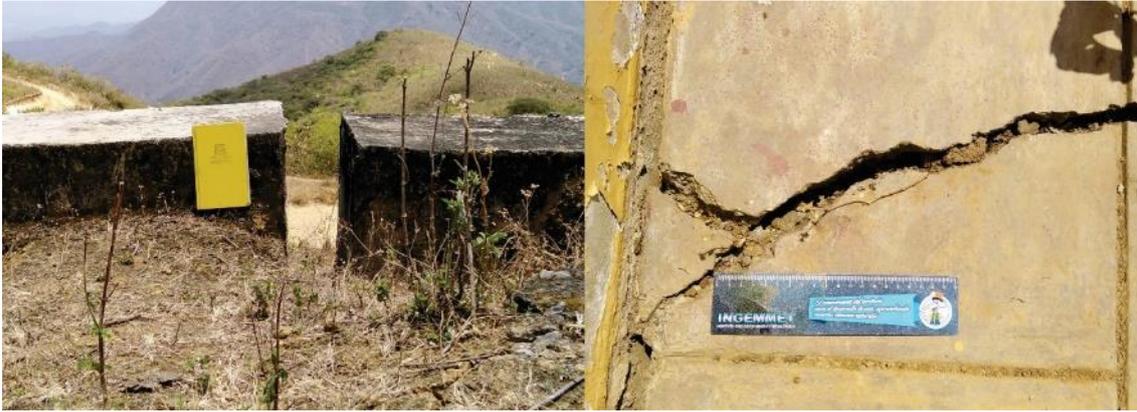


Figura 29. Muros de contención y veredas con grietas de hasta 5 cm de apertura.



Figura 30. Veredas con grietas y basculamientos de hasta 20° que generaron separaciones de 15 cm.

### b) Columnas de concreto

El desplazamiento de las estructuras debido al deslizamiento, el saturamiento de los suelos y la sobre carga inducida por el techo de concreto armado provocó que las columnas de concreto de las aulas sufrieran graves daños por compresión.

Se observan dos tipos de fallas en las columnas, desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo con núcleo sano y núcleo destruido, lo que pudo ocasionar el pandeo del acero (figura 31).



Figura 31. Columnas con grietas y exposición de acero de refuerzo.

### c) Losas deportivas

El flujo de lodo transportó los materiales provenientes del deslizamiento, llegando a depositar sedimentos que alcanzaron espesores de 50 cm a 1m, las evidencias de este proceso se pueden observar en las losas deportivas ubicadas ladera abajo (figura 32).



Figura 32. Losa deportiva con depósitos transportados por el flujo de lodo.

### d) Vías de acceso

Las principales vías de acceso a las aulas y demás instalaciones de la I.E. 10061 Colaya son las escaleras que, debido al empuje de los materiales sufrieron esfuerzos de compresión y fueron levantadas colapsando en varios tramos, en otros sectores el agua de escorrentía erosiono la base de las mismas dejando colgados sin suelo de cimentación, este efecto de carcavamiento pone en peligro restringiéndose el pase peatonal (figura 33).



Figura 33. Escaleras de acceso desde la vía afirmada que fueron afectadas por el deslizamiento y flujo.

## 8. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

A continuación, se describen algunas propuestas generales para mitigar las zonas afectadas por el deslizamiento y flujo que afectó la I.E. 10061 Colaya, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de nuevos procesos de remoción en masa, ninguna de estas medidas servirá para habilitar las instalaciones para uso educativo, debido a que existe un peligro latente frente a factores detonantes.

Cabe destacar que, las medidas estructurales deberán estar sustentadas en estudios de ingeniería definitiva tales como la caracterización geológica, geofísica y geotécnica de las estructuras a cimentar.

## 8.1. Medidas estructurales

### a) Canal de coronación

Las zanjas se ubican en la corona del deslizamiento o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente la escorrentía proveniente del agua de lluvia y evitar el paso a través del talud o ladera afectada. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 34).

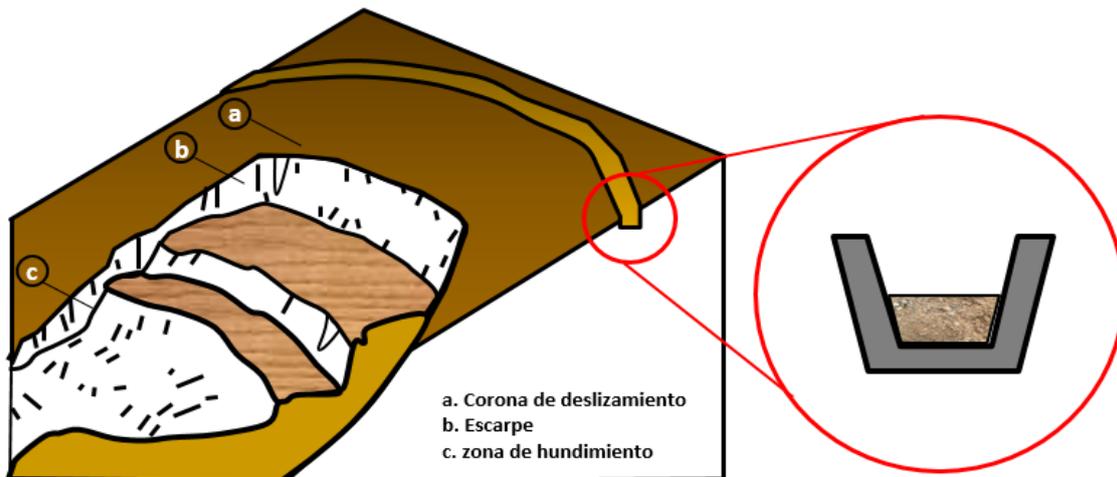


Figura 34. Esquema de zanjas de coronación o drenaje de deslizamiento.

### b) Sistemas de drenaje dendrítico

Para disminuir la infiltración de agua en las áreas arriba del talud, se deben de construir canales recolectores de forma dendrítica o también llamada espina de pescado que extraigan el agua de las zonas afectadas o susceptibles a deslizamientos, drenando o vertiendo le agua hacia el río o quebradas también revestidas, los canales deben de impermeabilizarse a fin de evitar la reinfiltración del agua (figura 35).



Figura 35. Esquema de drenaje dendrítico.

### c) Banquetas

En la parte inferior de un talud, la descarga y velocidad del agua superficial aumentan, causando el incremento de las fuerzas de socavación. En este caso, la velocidad de la corriente puede reducirse al proporcionar una banqueta casi horizontal a la mitad del talud, o la concentración de agua superficial en la parte inferior del talud puede prevenirse al construir una zanja en la banqueta para drenar el agua hacia afuera del talud. La banqueta también puede usarse como acera para inspección o como andamio para reparación.

Por lo tanto, las banquetas deben diseñarse tomando en cuenta la dificultad de inspeccionar y reparar, la pendiente del talud, la altura de corte, los suelos del talud, los costos y otras condiciones (figura 36).

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 m a 2 m de ancho cada 5m a 10 m de altura, dependiendo del suelo, litología escala de talud.

Una banqueta más ancha se recomienda cuando el talud es largo y grande o donde se instalarán vallas de protección de caída de rocas.

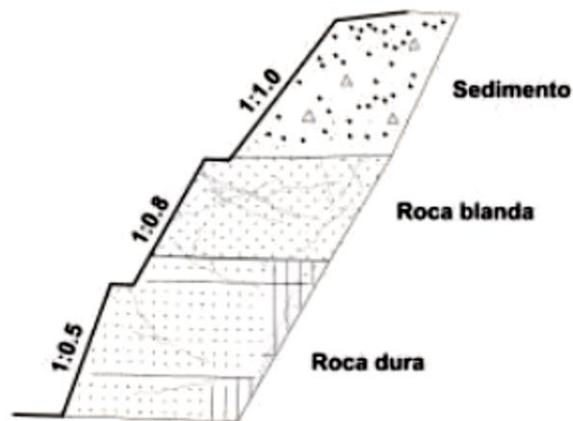


Figura 36. Condiciones de terreno y forma de taludes.

## CONCLUSIONES

- a) La Institución Educativa 10061 Colaya se ubica sobre una montaña intrusiva, que presenta una ladera con pendiente mayores a 30° y cuyo proceso de construcción presentó taludes de corte con pendientes mayores a 40°, este relieve alcanza elevaciones de hasta 2300 m s.n.m. La geoforma sobre la que se desarrollan los procesos de remoción en masa constituye el factor condicionante más relevante para la ocurrencia de los mismos.
- b) El basamento rocoso está conformado por cuerpos intrusivos de tonalitas, granodioritas y granitos de características geomecánicas susceptible a la erosión y que dan origen a areniscas y limolitas. Los depósitos que constituyen la cobertura aluvial de aspecto rojizo pueden estar asociada a la Formación Goyllarisquizga e Inca conformada por areniscas y arcillitas de color marrón rojizo. Estas características representan sedimentos poco consolidados susceptibles a erosión por escorrentía superficial.
- c) La caracterización geodinámica del peligro geológico a través del trabajo de campo ha definido el proceso de remoción en masa como un **DESLIZAMIENTO ROTACIONAL RETROGRESIVO EN ESTADO INACTIVO**. Se ha identificado la presencia de un escarpe principal de 191 m de longitud con procesos retrogresivos de escarpes secundarios de 110 m, los saltos de falla presentan desniveles de 1 m a pocos centímetros. Mientras que, las lluvias ocurridas el 25 de febrero del 2017 junto con la escorrentía superficial sobresaturaron los sedimentos y materiales del cuerpo del deslizamiento, esto originó un flujo de lodo, que descendió por la ladera, ingresó a las aulas y se depositó en las losas deportivas. El depósito alcanzó desde pocos centímetros hasta 1 m de espesor.
- d) El factor desencadenante del deslizamiento y posterior flujo de lodo, ocurrido el 25 de febrero del 2017 fue las lluvias presentadas durante el fenómeno El Niño Costero, la falta de alcantarillas, badenes y principalmente cunetas en la vía Colaya-Corral de Piedra originaron que el agua de escorrentía se vierta sobre la zona afectada lo que incremento la erosión en la ladera.
- e) En los trabajos de campo se identificaron formación de nuevos escarpes ubicados 80 m hacia el este de la ladera, grietas radiales y extensionales en el cuerpo del deslizamiento y en las zonas próximas a la corona del mismo. La escorrentía superficial ha originado cárcavas de hasta 2.5 m de profundidad, la pérdida de suelo de cimentación afecta a muros de contención, escaleras y losas de concreto que han tenido daños estructurales importantes. Por tanto, debido a las condiciones actuales, a las características de los materiales y depósitos Cuaternarios y a las geoformas con pendientes superiores a 30°, se considera que la zona presenta un **“Peligro muy Alto por Movimientos en Masa”**.

## RECOMENDACIONES

- a) Reubicar la Institución Educativa 10061 Colaya en una zona adecuada que cuente con los estudios correspondientes en peligros geológicos, geología, geotecnia y otros; considerando las características geológicas y geomorfológicas descritas en el presente informe.
- b) Catalogar la zona afectada y la infraestructura como no habitable y prohibir la construcción de nuevas estructuras; así como, la modificación de la ladera para cualquier tipo de uso.
- c) Reasignar las instalaciones existentes tales como los pabellones y aulas para otras finalidades tales como almacenes para materiales, alimentos y otros.
- d) Plantear, ubicar y construir las medidas de mitigaciones estructurales descritas; tales como: zanjas de coronación y drenajes dendríticos para el adecuado manejo de la escorrentía superficial, con el objetivo de impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie y evitar que el agua superficial se infiltre al subsuelo.
- e) Construir cunetas a lo largo de la vía Colaya-Corral de Piedra en el tramo correspondiente al perímetro de la I.E. Colaya, para evitar que el agua de escorrentía proveniente de temporada de lluvias descienda hasta la zona afectada.
- f) Se debe revestir la quebrada, acequia y canales adyacentes mediante geomembrana de polietileno con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y evitar la inestabilidad en las laderas.

## REFERENCIAS

- Wilson, J (12-g). INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 142, 125 p., 8 mapas.
- Villacorta, S. Núñez, S. Ochoa, M. Pari, Walter. (2010) Riesgo Geológico en la Región Lambayeque.
- Núñez et al., (2017). Evaluación geológica de las zonas afectadas por el Niño Costero 2017 en las regiones de Lambayeque-Cajamarca.
- 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.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (FEDERACAFÉ). 1975. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). Manual de conservación de suelos de ladera. 1ª edición. Chinchiná Colombia), Cenicafé. 267 p.
- HUDSON, N. (1982). Conservación del suelo. Editorial Reverté, Barcelona (España). 335p.
- IDESEP (2017). Infraestructura de datos espaciales del SENAMHI-2017.
- 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.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movements types and processes, en Schuster R.L., y Krizek R.J., ed, Landslides analysis and control: Washington D. C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report 176.
- Zinck, A. (1987). Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de Agrología.