



SECTOR ENERGÍA Y MINAS

**INGEMMET**

INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO

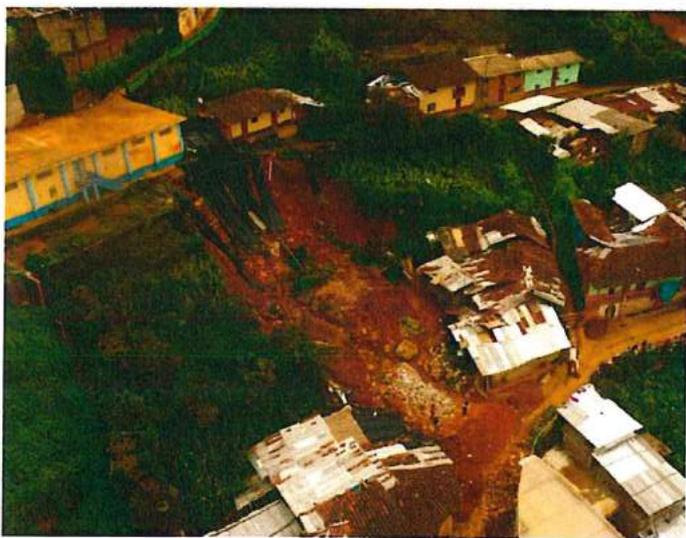
DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A6920**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE AYABACA



Región Piura  
Provincia y distrito Ayabaca



JULIO  
2019

REGIÓN PIURA - DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO - INFORME TÉCNICO - INGEMMET / 240719

## CONTENIDO

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES.....	4
3. ASPECTOS GENERALES.....	5
3.1. Ubicación.....	5
3.2. Accesibilidad.....	5
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	5
4.1. Unidad de Montañas.....	6
4.2. Unidad de Piedemonte.....	6
5. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	8
6. PELIGROS GEOLÓGICOS.....	10
6.1. Definición de deslizamientos.....	10
6.2. Deslizamientos en la zona urbana del distrito de Ayabaca.....	10
6.2.1. Deslizamientos en la Zona 1 (Sector El Cerro).....	12
6.2.2. Deslizamientos en la zona 2 (Sector El Mirador).....	19
6.3. Daños.....	24
6.4. Mecanismos asociados a la inestabilidad de laderas.....	24
6.5. Factores condicionantes.....	25
6.5.1. Tipos de rocas y suelos.....	25
6.5.2. Geomorfología.....	25
6.5.3. Actividad antrópica.....	26
6.6. Factores detonantes.....	27
6.6.1. Precipitaciones pluviales.....	27
6.6.2. Sismos.....	27
7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS.....	29
7.1. Comunicación del peligro por movimientos en masa.....	29
7.2. Medidas no estructurales.....	29
7.3. Medidas estructurales.....	30
7.3.1. Zanjas de coronación.....	30
7.3.2. Sistemas de drenaje dendrítico.....	30
7.3.3. Banquetas.....	30
8. ZONA PROPUESTA PARA REUBICACIÓN.....	31

CONCLUSIONES..... 33

RECOMENDACIONES ..... 34

REFERENCIAS ..... 35

## EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO DE AYABACA (Región Piura, Provincia y distrito de Ayabaca)

### RESUMEN

La zona de estudio pertenece al distrito y provincia de Ayabaca y se ubica al noreste del departamento de Piura, el área urbana de la ciudad de Ayabaca es afectada por varios deslizamientos, derrumbes y erosión de laderas que se activan en temporada de lluvias. Los sectores evaluados se han agrupado en 2 zonas:

La zona 1: abarca el cerro El Calvario, el AA.HH. Señor Cautivo y las calles el Cerro y Av. Arequipa; este sector es afectado por 3 deslizamientos; 01 deslizamiento activado el 25 de febrero del 2019 debido a las intensas lluvias, 2 deslizamientos antiguos a ambos lados y una zona de derrumbe.

La zona 2: se desarrolla sobre el sector el Mirador entre las calles El Cerro, Av. Arequipa y las quebradas El Tuco y San José, se identificaron 5 deslizamientos activados durante las lluvias del mes de febrero y marzo del presente año, un deslizamiento antiguo y una zona de derrumbe.

Mientras que, el área de estudio también es afectada por una fuerte erosión de laderas causada principalmente por el agua de escorrentía que fluye a través de canales, acequias y quebradas no revestidas.

Los factores condicionantes que intervienen en la ocurrencia de los deslizamientos está relacionada a la presencia de sedimentos y materiales de naturaleza arcillosa provenientes de antiguos deslizamientos, los afloramientos de rocas están conformados por calizas y areniscas muy fracturadas y con buzamientos orientados a favor de la pendiente. La geomorfología está constituida por montañas y piedemontes con relieves empinados cuya pendiente supera los 30°.

Los deslizamientos se activaron durante la temporada de lluvias registradas durante el Niño Costero del 2017 y el periodo comprendido entre los años 2018 y 2019, en donde las precipitaciones alcanzaron un pico extraordinario sobrepasando los índices normales en la zona.

La geodinámica del área de estudio se encuentra activa, debido a la presencia de sedimentos saturados, manantes de agua y formación de nuevas escarpas que podrían ser precursoras de nuevos deslizamientos que abarcarían una mayor extensión.

Como medida preventiva a corto plazo se debe de reubicar las viviendas y estructuras que se encuentran próximas a los cuerpos de los deslizamientos y derrumbes identificados.

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los meses de enero a mayo del año 2017 el territorio peruano estuvo expuesto al denominado Niño Costero, fenómeno que se caracterizó por presentar lluvias intensas que superaron los índices normales registrados y que afectaron varias regiones al norte del país con la activación y ocurrencia de movimientos en masa e inundaciones.

Bajo este contexto, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos (DGAR) apoyó a los gobiernos regionales y locales brindando asistencia técnica científica a través de la Evaluación de Peligros Geológicos de las zonas afectadas por dichos eventos geodinámicos.

La Gerencia de Desarrollo Urbano y Rural de la Municipalidad Provincial de Ayabaca a través del Oficio N° 343 – 2019-MPA-A en coordinación con la oficina descentralizada de INDECI en la ciudad de Ayabaca, solicitó la evaluación por peligros geológicos en los sectores El Cerro y El Mirador.

El INGEMMET y la Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos a través de la Oficina Descentralizada en Piura, realizó la inspección de campo a cargo del Ing. Cristhian Chiroque.

Para el inicio de los trabajos se llevó a cabo una etapa de gabinete en donde se recopilaron los antecedentes, informes técnicos, fichas de emergencia; además de descargar imágenes satelitales y ortofotos que sirvieron para realizar la fotointerpretación de los eventos ocurridos en años anteriores.

Posteriormente, se realizaron los trabajos de campo que consistieron en el cartografiado geológico, geomorfológico y geodinámico con el objetivo de identificar, delimitar y caracterizar los peligros a los que se encuentra expuesta el área urbana de la ciudad de Ayabaca.

Este informe contiene los detalles de la interpretación geológica y geodinámica de los eventos estudiados y las conclusiones y recomendaciones que servirán como herramienta a las autoridades locales para tomar las medidas correctivas frente a los movimientos en masa evaluados.

## 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:

- En el informe técnico “Zonas críticas por peligros geológicos en la región Piura” (Vilchez *et al.*, 2009) y el estudio de “Riesgo geológico en la región Piura” (Vilchez *et al.*, 2013), se identificaron “zonas críticas”, donde se resalta las áreas o lugares, que luego del análisis de los peligros geológicos identificados y la vulnerabilidad a la que están expuestas tanto infraestructura, carreteras y centros poblados a estos peligros, se consideran con peligro potencial de generar desastres, y que necesitan que se realicen obras de prevención y/o mitigación.
- Informe de Evaluación de Riesgo por erosión pluvial en el centro poblado Ayabaca (CENEPRED-2017). Se determinó el nivel de riesgo por erosión pluvial, además de los niveles de peligro y vulnerabilidad haciendo recomendaciones para las medidas de control de riesgo.

- Estudio de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Ayabaca (CEREN-2001). Se describen las características geotécnicas de los suelos muestreados en base a calicatas realizadas en el área urbana y zonas de expansión.

### 3. ASPECTOS GENERALES

#### 3.1. Ubicación

La zona de estudio se ubica en la ciudad de Ayabaca a 120 km al noreste de la Región Piura, abarca los sectores “El Cerro”, “El Calvario”, El Mirador” y los Asentamientos Humanos Sr. Cautivo y Melanio García; los cuales forman parte del centro urbano del distrito de Ayabaca, perteneciente a la provincia del mismo nombre (figura 01).

Las coordenadas centrales del área de inspección con referencia a la Plaza Central de la ciudad son WGS84-17S 642510E, 9486975N a una altitud de 2740 m aproximadamente.

#### 3.2. Accesibilidad

Para llegar a la zona de estudio desde la ciudad de Piura existen dos rutas, la primera y la más usada es por el tramo Piura – Tambogrande a través de la Vía de Evitamiento (Desvío Piura – Chulucanas), luego se continúa hacia el distrito de Las Lomas hasta el desvío a Suyo con dirección al distrito de Paimas, al llegar a este punto, inicia el ascenso a través de una trocha carrozable en regular estado dependiendo del periodo del año debido a las lluvias. Esta ruta tiene un recorrido 120 km y se realiza en 4 a 8 horas (cuadro 01).

Ruta	Tipo de Vía	Tiempo (horas)
Piura – Tambogrande	Asfaltada	1 h
Tambogrande – Las Lomas	Asfaltada	2 h
Las Lomas – Suyo	Asfaltada	1 h 30 min
Suyo – Paimas	En reconstrucción	30 min
Paimas – Ayabaca	Trocha afirmada	2 h 30 min

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

La segunda vía utilizada hasta hace 10 años atrás, es la que se realizaba de Piura hasta la ciudad de Sullana y luego hasta Tambogrande siguiendo los tramos descritos en la ruta anterior.

### 4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

La geomorfología de la zona está conformada por montañas en rocas volcano-sedimentarias y piedemontes coluvio-deluviales (Geocatmin, 2010).

La naturaleza de la formación de estos relieves obedeció a antiguos procesos de levantamiento y colapso de laderas que configuraron superficies con pendientes empinadas.

#### **4.1. Unidad de Montañas**

Es la máxima elevación de la superficie originada por procesos tectónicos de levantamiento que afectaron grandes extensiones de rocas y sedimentos debido a deformaciones por compresión o tensión. En el territorio peruano, la Cordillera de los Andes, que es un conjunto de montañas ha sido originada por la orogenia andina que a su vez resulta de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Continental.

##### **Montañas en rocas Volcano sedimentarias**

Son relieves con pendientes abruptas e intensamente erosionadas debido al agua de escorrentía proveniente de las lluvias, esta geoforma ha sido producto del emplazamiento de flujos piroclásticos de naturaleza andesítica con estratificación poco definida.

En el área de inspección se han encontrado grandes bloques de rocas de andesitas de hasta 1.5 m de diámetro que han sido expuestas debido a los movimientos en masa desarrollados sobre laderas con pendientes mayores a 35° (figuras 02 y 03).

#### **4.2. Unidad de Piedemonte**

El piedemonte es una superficie suavemente inclinada que se extiende desde la base de una montaña o cordillera hacia el área central del valle (Osterkamp, 2008). Esta unidad conforma una zona de acumulación dominada por depósitos coluviales o aluvionales que constituyen una transición entre los relieves montañosos y las áreas circundantes.

##### **Piedemonte coluvio deluvial**

Esta geoforma ha sido originada por el colapso gradual de las partes altas de las montañas, eventos denominados movimientos en masa antiguos. Los materiales de naturaleza homogénea conforman depósitos poco consolidados de clastos y bloques con matriz arcillo arenosa. En conjunto forman relieves con pendientes menores a 30° y se emplazan extendiéndose gradualmente a medida que se alejan de la fuente de colapso, figura 04.

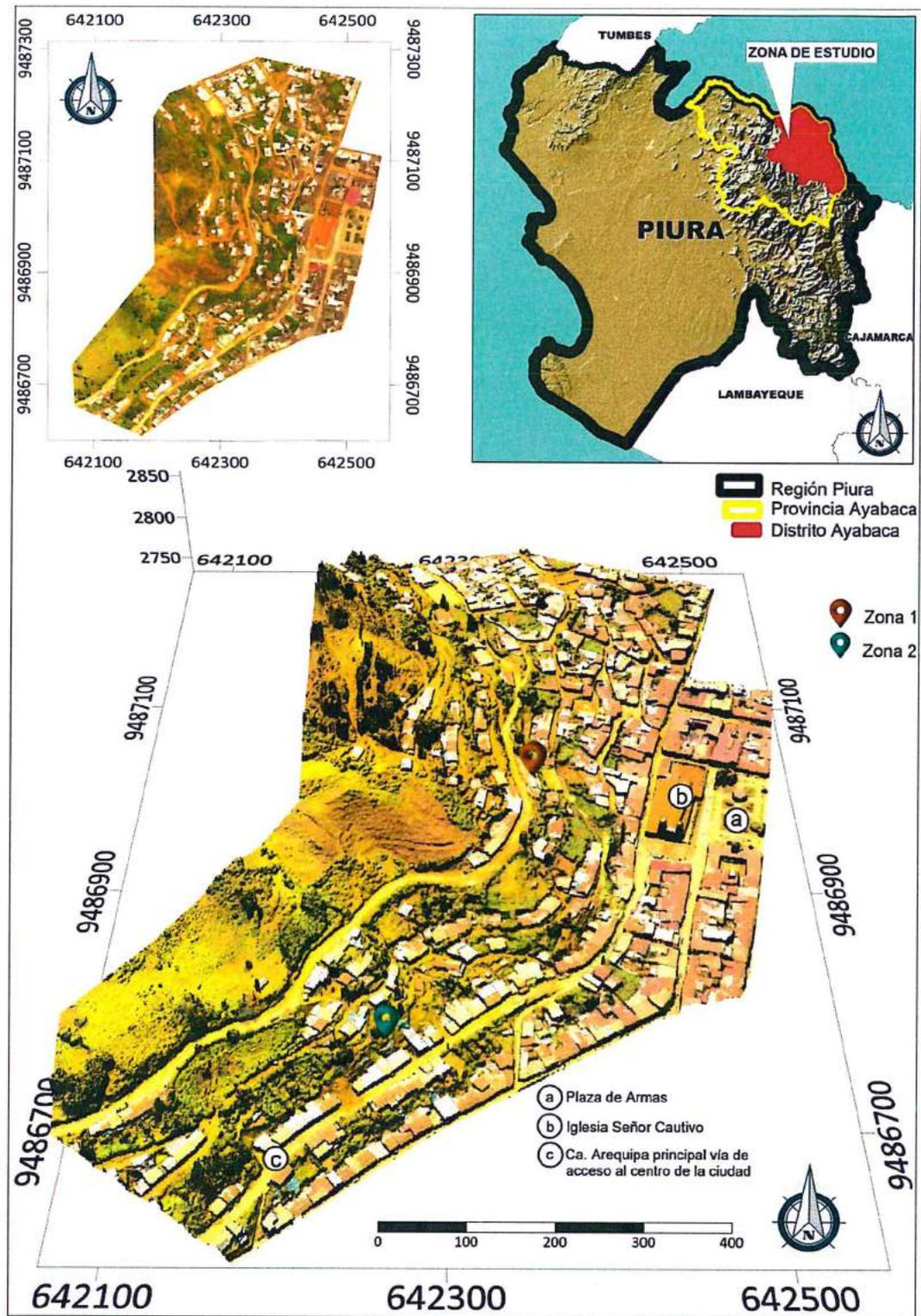


Figura 01. Mapa de ubicación de la zona de estudio y los sectores inspeccionados



Figura 02. Vista de este a oeste, delimitando las montañas en rocas volcánico-sedimentarias.



Figura 03. Vista de sur a norte de la zona urbana asentada sobre montañas.



Figura 04. Vista panorámica del piedemonte coluvio deluvial sobre la cual se asienta gran parte del área urbana de Ayabaca.

## 5. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La zona de estudio se encuentra dentro del cuadrángulo geológico de Ayabaca 10-d (Reyes, 1987), la litología está representada por rocas volcánico sedimentarias de tipo brechas piroclásticas andesíticas con intercalaciones de capas sedimentarias (Volcánico Lancones); así como depósitos Cuaternarios (coluvio-deluviales).

Localmente, en la parte alta del área de inspección en el sector conocido como Cruz del Calvario afloran andesitas en litoclastos de hasta 1.5 m de diámetro, hacia la parte más baja Av. Arequipa – Av. Piura existen capas sedimentarias de calizas areniscas, limolitas y arcillas de color rojizo a gris con laminación ondulada que se observan en los escarpes de las laderas y taludes (figuras 05 y 06).

El área urbana de Ayabaca se asienta sobre materiales y sedimentos conformados por brechas piroclásticas y capas de limolitas, arcillitas, calizas arenosas y calizas bituminosas en estratos muy fracturados; en conjunto, esta litoestratigrafía forma un

relieve cuyo suelo de cimentación es incompetente, frágil y con baja capacidad de carga debido a las arcillas. Los eventos hidrometeorológicos caracterizados por lluvias intensas como las ocurridas durante el Niño Costero y recientemente durante los meses de enero a marzo del periodo 2017 y 2018 sobresaturan los suelos, el agua reduce el valor de la resistencia al corte y se deslizan.



Figura 05. Litoclastos de hasta 1m de diámetro en matriz arcillo arenosa de color rojizo desplazados por los movimientos en masa.

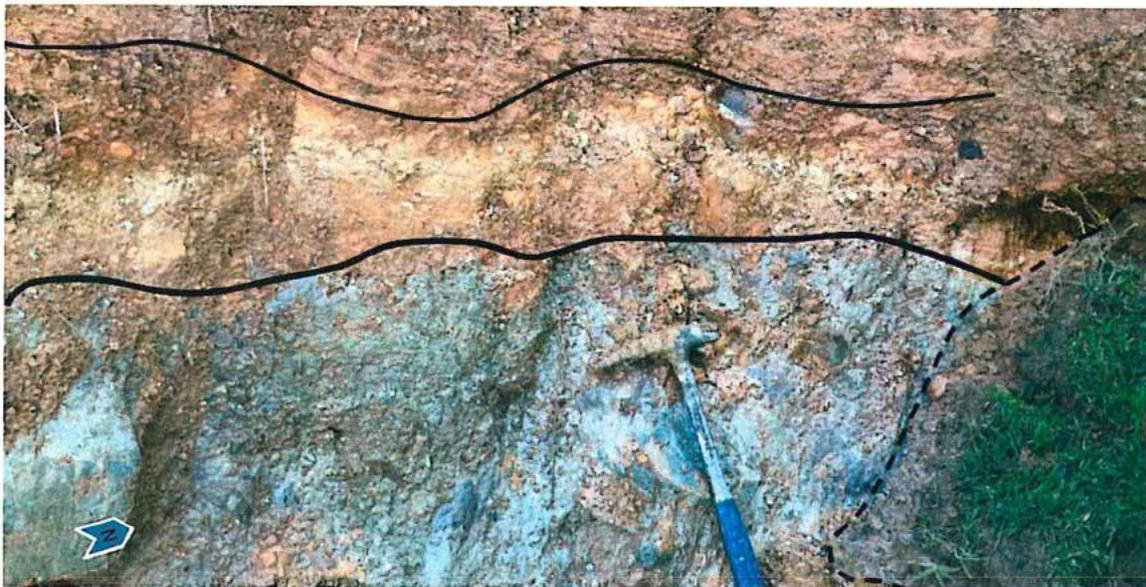


Figura 06. Limolitas y arcillitas bituminosas muy saturadas y con plasticidad media a alta

Al sur de la zona urbana en el sector conocido como Yacupampa afloran calizas bituminosas nodulares bien fracturadas (figura 07).

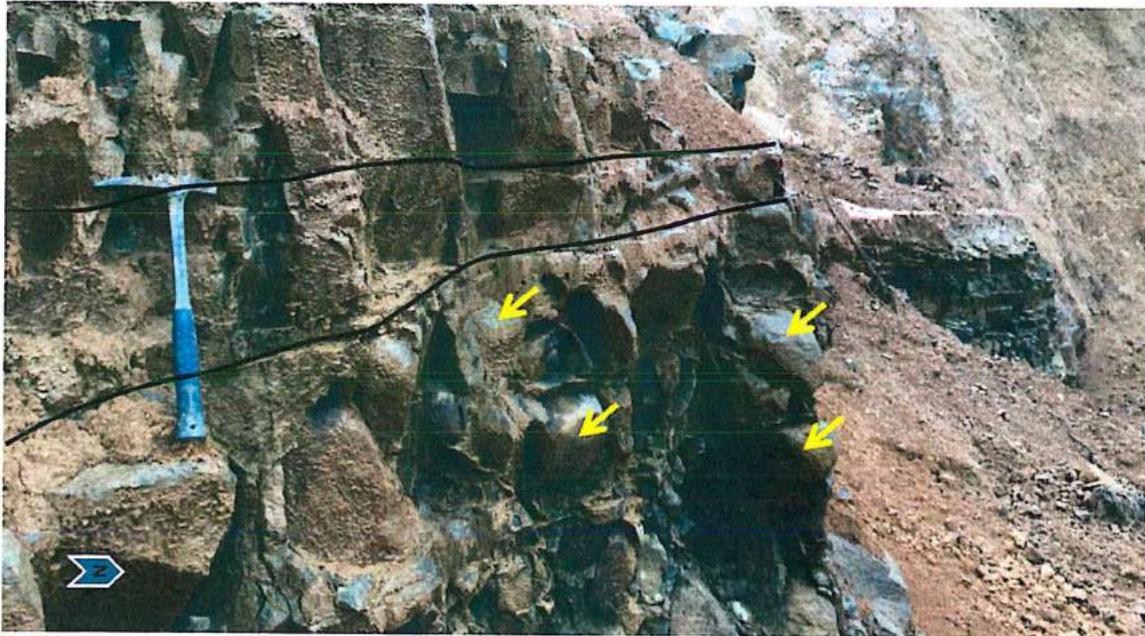


Figura 07. Calizas bituminosas con estratificación tabular y presencia de nódulos.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

En el trabajo de campo se identificó los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico basado en la observación y caracterización morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas y ortofotos.

### 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 (figura 08).

### 6.2. Deslizamientos en la zona urbana del distrito de Ayabaca

Para una adecuada descripción de los procesos geodinámicos se ha dividido el área de inspección en dos sectores, Zona 1 y 2 (figura 09):

La zona 1 abarca desde la parte alta del cerro "El Calvario" hasta la calle "El Cerro", Av. Arequipa y el AA.HH Señor Cautivo. Se ha identificado un deslizamiento reciente, 02 deslizamientos antiguos a cada lado y un derrumbe. Mientras que, la zona 2 presenta 6 deslizamientos que afectan los sectores El Mirador, AA.HH. Melanio García Gonzales entre las quebradas el Tuco y San José. Además, existen un derrumbe y escarpes de deslizamientos antiguos cuya actividad geodinámica lleva más de 20 años según testimonios de los pobladores.

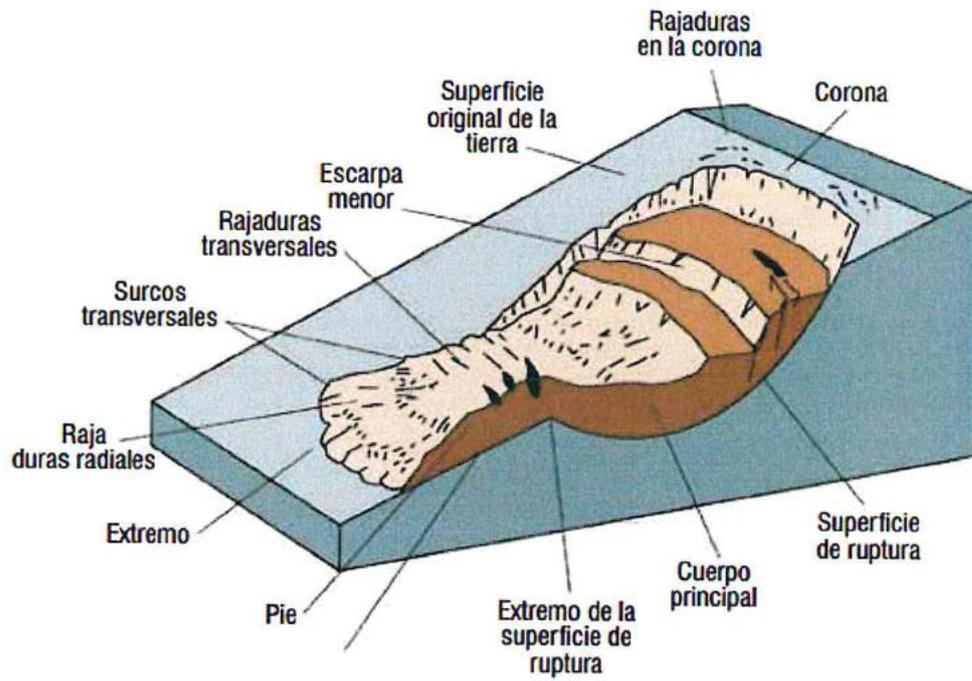


Figura 08. Deslizamiento de tipo rotacional, Adaptado de USGS (2008), GEMMA: PMA-GCA (2007).

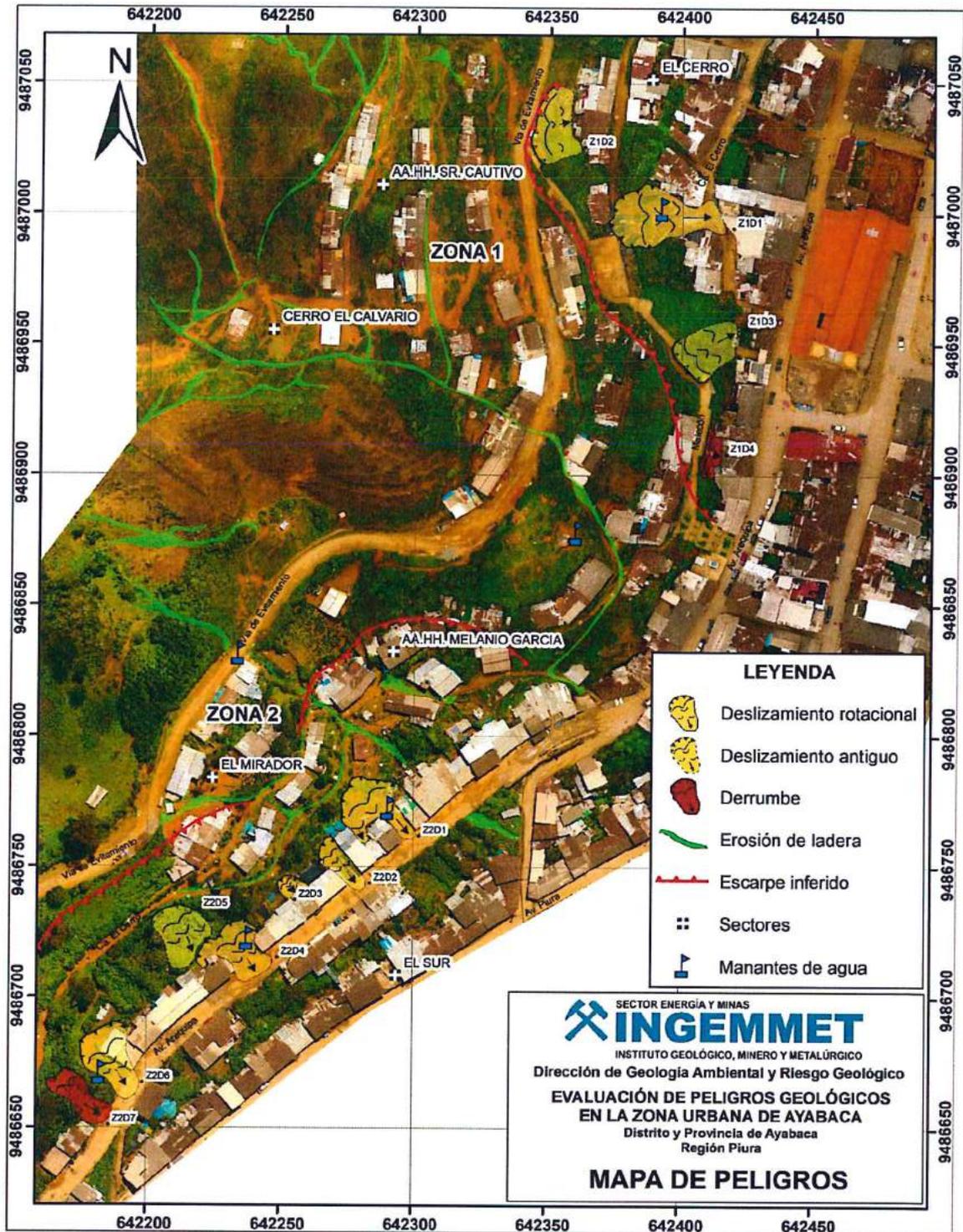


Figura 09. Área urbana de la ciudad de Ayabaca y las zonas afectadas por movimientos en masa.

### 6.2.1. Deslizamientos en la Zona 1 (Sector El Cerro)

A continuación, se describen las principales características de los 03 deslizamientos del sector El Cerro (figura 19):

**Z1D1.** Este deslizamiento reciente de tipo rotacional ocurrió el 25 de febrero del presente año, los materiales y sedimentos se desplazaron ladera abajo con dirección oeste a este, alcanzando un recorrido total de 43 m, la escarpa principal se ubica a menos de 2 m del perímetro del Pozo de Captación y Almacenamiento de agua de la ciudad (figura 10).



Figura 10. Vista aérea del deslizamiento de tipo rotacional.

La zona de arranque del deslizamiento inicia en la cota 2771; mientras que, el pie o zona de acumulación se desplaza hasta los 2751 m de altitud, por lo que el desnivel es de aproximadamente 20 m, con una pendiente de 65° (figura 11).



Figura 11. Vista lateral de los deslizamientos en sector el Cerro.

La corona del deslizamiento mide 46 m de longitud, mientras que, el escarpe tiene desniveles con rangos de 10 a 2 m hacia el centro y flancos respectivamente (salto principal), la zona de hundimiento tiene 15 m de largo y presenta grietas longitudinales y transversales típicas de este tipo de movimiento en masa (figura 12 a y b).

Los sedimentos y materiales colapsados se desplazaron hasta 43 m destruyendo las viviendas de la calle el Cerro (figura 12 c y d).

Se contó con dos ortofotos que se utilizaron para realizar un análisis multitemporal del deslizamiento ocurrido en la zona (figura 13 a y b).



Figuras 12 (a y b) Vista frontal y lateral del escarpe principal. (c y d) Zona de acumulación que llegó hasta la calle el Cerro.

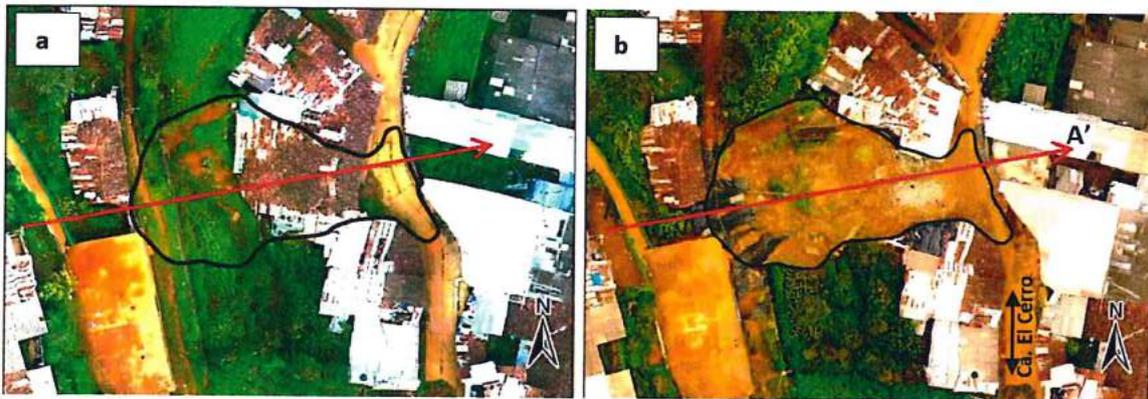


Figura 13a. Ortofoto tomada en el mes de marzo del 2017 para los eventos ocurridos en el Niño Costero (Fuente: COER-Piura). Figura 13b. Ortofoto tomada en el mes de abril del 2019 por la DGAR-OD Piura.

Además, se han elaborado dos perfiles longitudinales en base a los modelos digitales de terreno para analizar el antes y el después de los deslizamientos, estos han sido de gran utilidad para definir los parámetros morfométricos de la ladera donde se desarrollaron los eventos (figura 14).

## PERFIL LONGITUDINAL DEL DESLIZAMIENTO

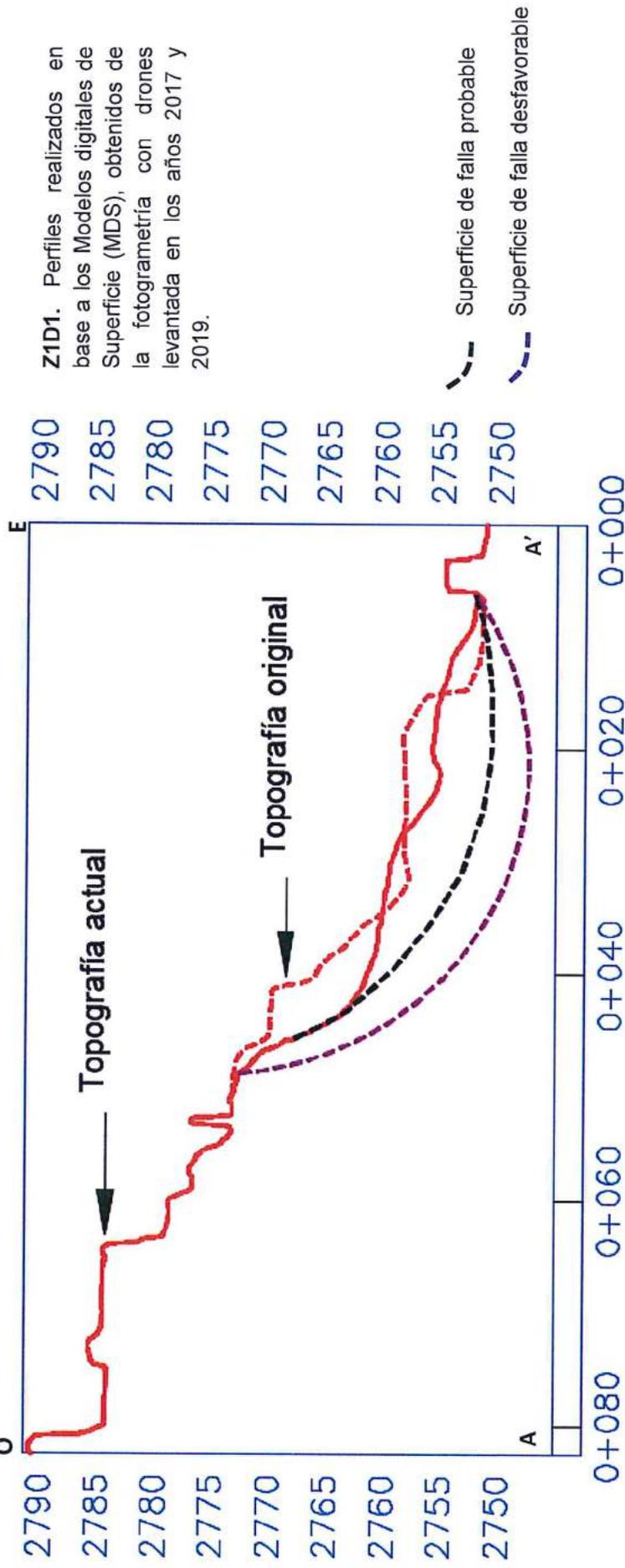


Figura 14. Perfil del deslizamiento del sector El Cerro.

En base a la fotointerpretación de imágenes satelitales y de ortofotos obtenidas por medio de drones se ha delimitado dos escarpes de deslizamientos antiguos a ambos flancos del deslizamiento reciente.

**Z1D2.** Próximo a la Vía de Evitamiento se ha identificado un deslizamiento antiguo, que alcanzó un desplazamiento de 20 m ladera abajo, la corona llegó a medir 30 m de largo y afectó 04 viviendas (figura 15). Como medida de mitigación estructural se construyeron dos muros de contención a gravedad de 19 m de largo, la escarpa o pantalla observable en superficie mide 3 m de alto (figura 16).



Figura 15. Vista frontal del deslizamiento antiguo entre la Vía de Evitamiento y Ca. El Cerro.



Figura 16. Vista de los muros de contención en el deslizamiento antiguo.

**Z1D3.** Este deslizamiento destruyó un tramo de 18 m de longitud del Malecón de la Ca. El Cerro y 5 viviendas de la Av. Arequipa. Las barandas de concreto que limitaban el malecón presentan un desplazamiento de 30 cm lo que evidencia el empuje que sufrieron las estructuras debido al deslizamiento (figura 17).

**Z1D4.** Entre las Calles Arequipa y Salaverry, se ha identificado una zona de derrumbes antiguos por debajo del Malecón de la Calle El Cerro, existe una columna armada de sostenimiento, sin embargo, parte del malecón ha quedado colgado, además, se ha identificado hundimientos en la estructura y materiales con humedad media (figura 18).

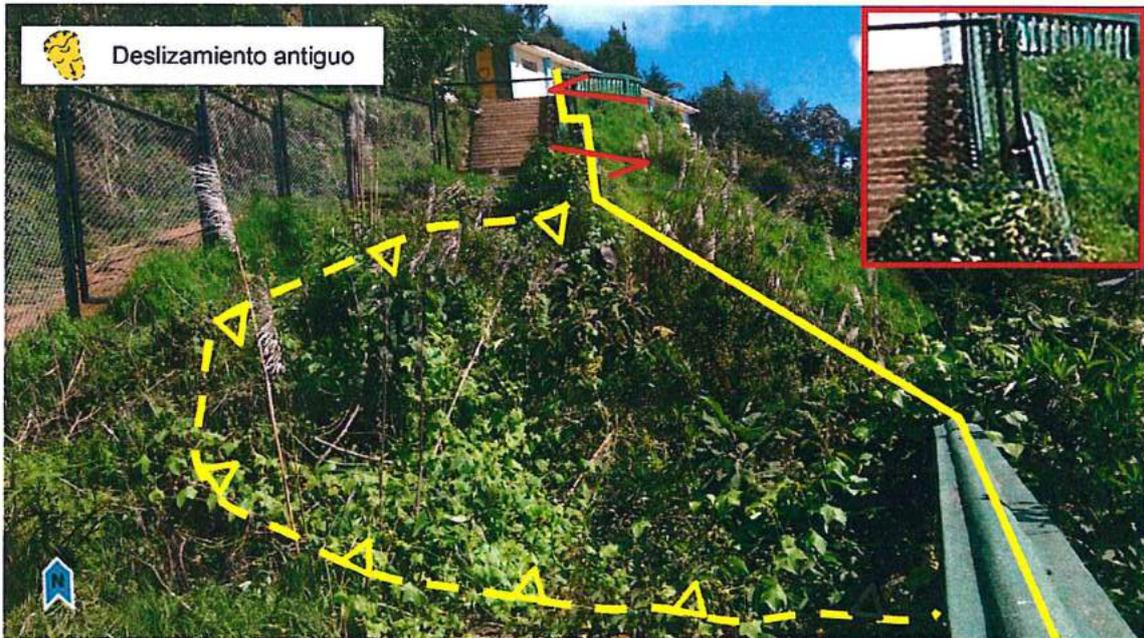


Figura 17. Malecón de la Calle El Cerro, clausurado debido al deslizamiento.



Figura 18. Vista hacia la zona de derrumbes ubicada debajo del malecón.

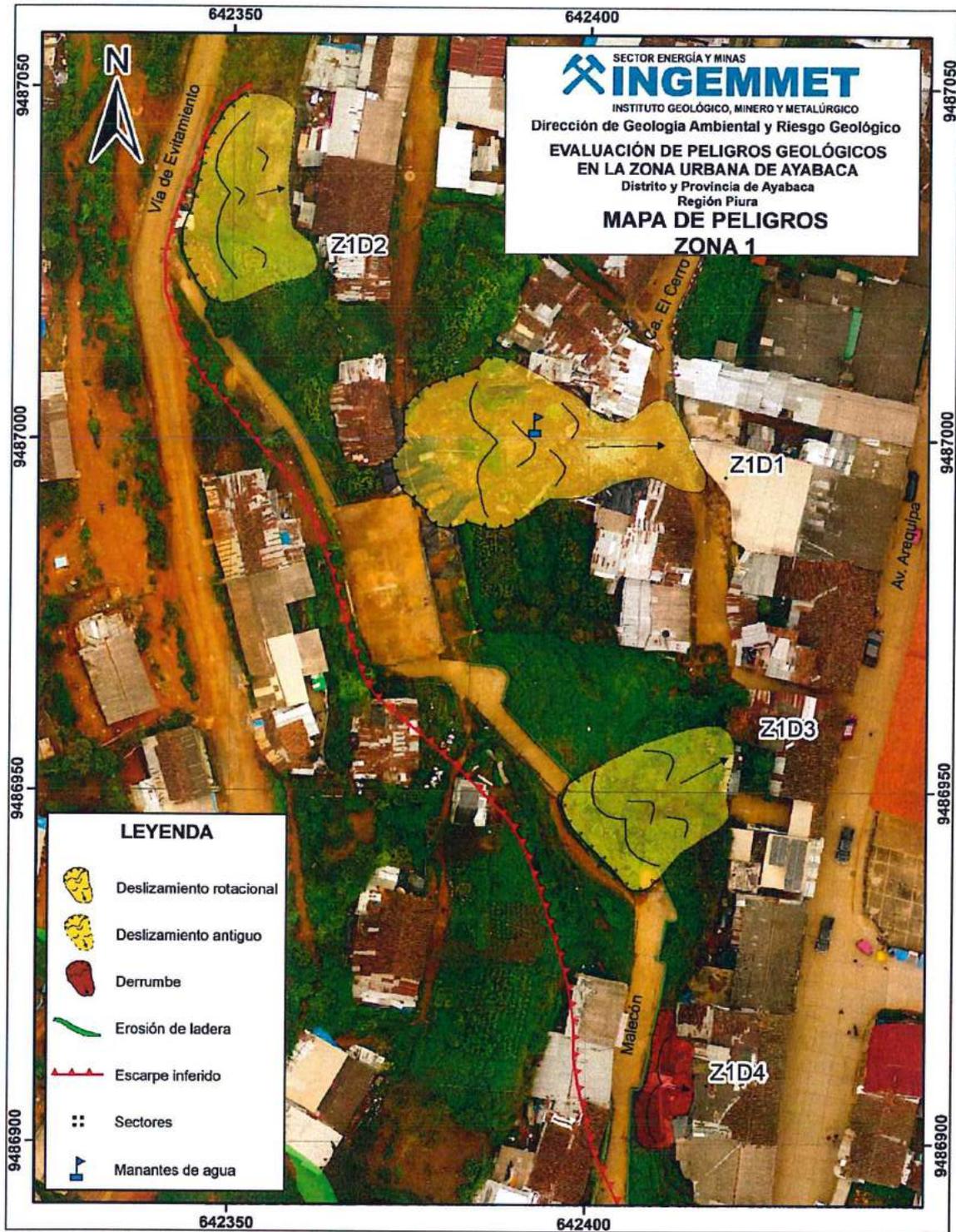


Figura 19. Detalle de los peligros geológicos a los que está expuesta la zona 1 sector El Cerro.

### 6.2.2. Deslizamientos en la zona 2 (Sector El Mirador)

La zona 2 es afectada por 5 deslizamientos recientes de tipo rotacional, un deslizamiento antiguo y una zona de derrumbe; estos eventos geodinámicos son reactivaciones de antiguos procesos de remoción en masa (figuras 23 y 24). El área afectada abarca más de 210 m lineales, la zona de arranque inicia entre los 2762 y 2764 m de altitud y desciende hasta 2748, el desnivel promedio es de 14 m con una pendiente de 60°.

A continuación, se describen de noreste a suroeste las principales características de cada uno de los deslizamientos del sector El Mirador:

**Z2D1.** El primer deslizamiento presenta un ancho de 24.4 m, se desplazó 31 m ladera abajo, la zona de arranque esta próxima a la Calle el Cerro y llega hasta la Av. Arequipa, la corona mide 35 m de largo y el escarpe principal presenta saltos de 6 a 8 m aproximadamente (figuras 20 y 21 a, b, c y d).

**Z2D2.** El deslizamiento tiene un ancho de 8.8 m, se desplazó 23.7 m hasta la Av. Arequipa, la corona mide 12 m de largo y el escarpe principal presenta saltos de 4 a 2 m (figura 20).

**Z2D3.** Este deslizamiento presenta un ancho de 8.1 m, tiene un desplazamiento más corto (7 m) debido a que las viviendas han contenido los materiales, la corona mide 12 m de largo y el escarpe principal presenta saltos de 5 a 3 m (figura 20).



Figura 20. Vista tomada de sur a norte, deslizamientos con zonas de depositación que llegan hasta la Av. Arequipa.

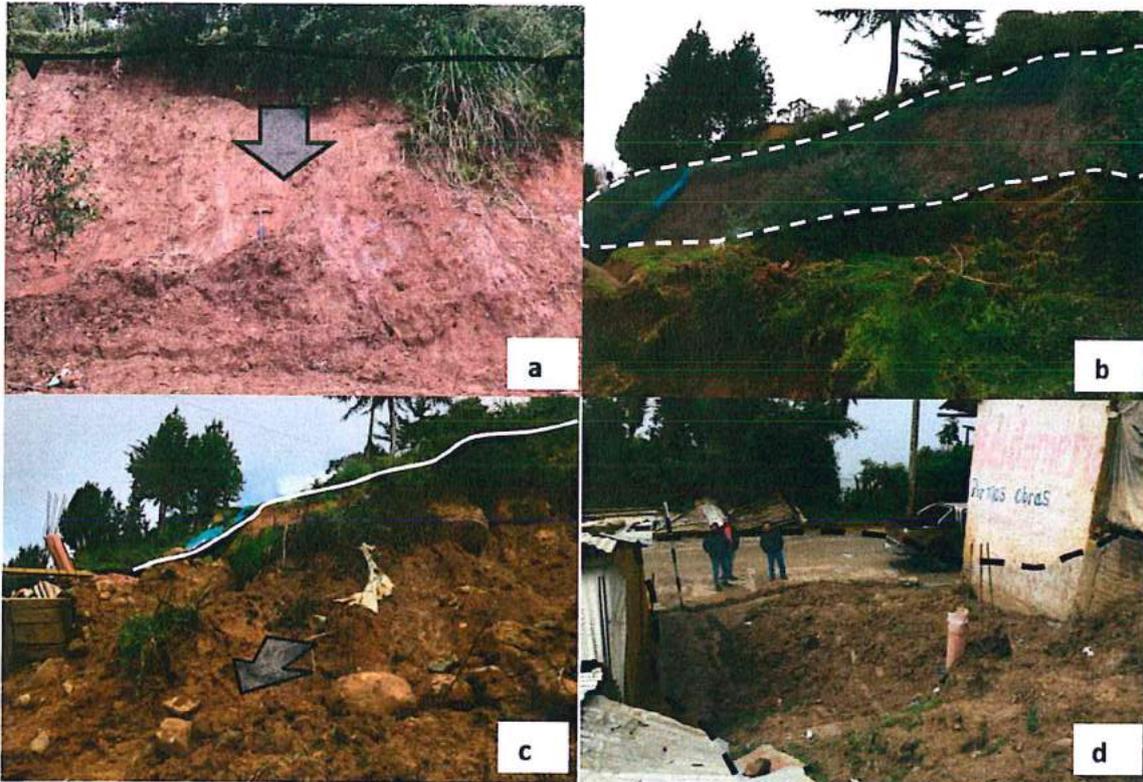


Figura 21 (a y b) Vista frontal y lateral de la corona y escarpe del deslizamiento **Z2D1**. (c y d) zona de desplazamiento, los materiales llegaron a depositarse en la calle Arequipa.

**Z2D4.** El deslizamiento presenta un ancho de 26.3 m, se desplazó 22 m ladera abajo, la zona de arranque se encuentra a 20 m de la Calle el Cerro, la corona mide 34 m de largo y el escarpe principal presenta un salto de 5 m aproximadamente (figura 22).

**Z2D5.** Este es un deslizamiento antiguo, tiene un ancho de 14 m, se desplazó 22 m y la corona llegó a medir 17 m de largo (figura 22).

**Z2D6.** Deslizamiento activo o reciente tiene un ancho de 22 m, los materiales deslizados recorrieron hasta 28 m llegando a la Av. Arequipa, la corona tiene una longitud de 27 m y el escarpe principal presentó un salto de falla de hasta 7 m (figura 22).

**Z2D7.** Derrumbe antiguo, tiene un ancho de 10 m, los materiales colapsados se depositaron próximos a la Av. Arequipa, este evento geodinámico ocurrió debido a la modificación antrópica del talud con pendiente subvertical (figura 22).

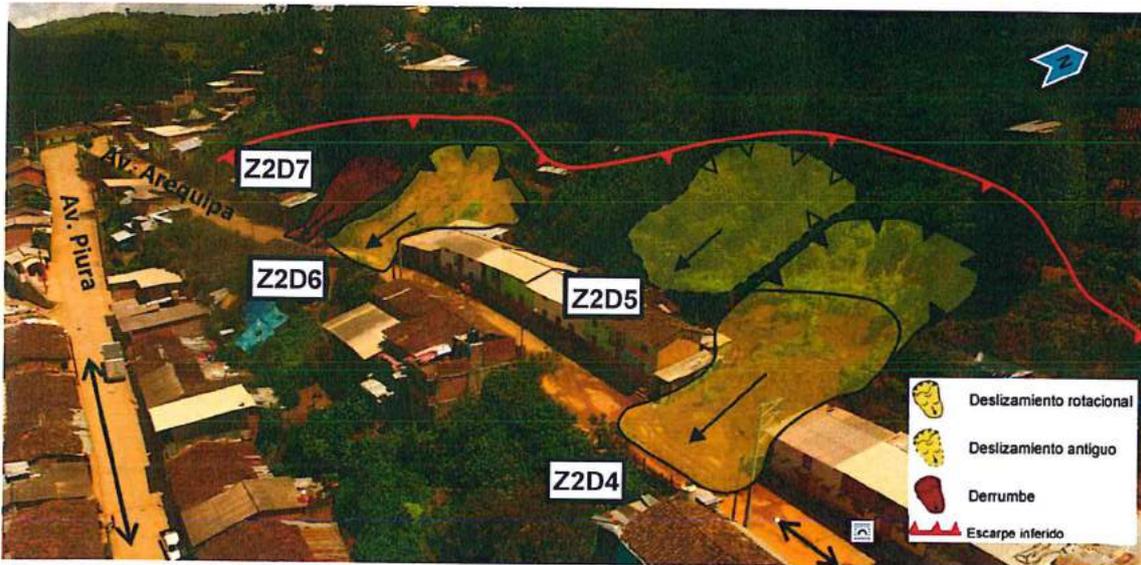


Figura 22. Vista panorámica tomada de este a oeste, hacia la salida de la ciudad, calle Arequipa y Piura.

Se ha contado con una ortofoto del año 2017 adquirida mediante vuelos con drones por el equipo del COER-Piura la cual ha sido de gran utilidad para comparar las condiciones antes de los deslizamientos del presente año (figura 23).

La corona de los 5 deslizamientos presenta una orientación preferencial noreste suroeste, extendiéndose paralelas a las calles El Cerro y Vía de Evitamiento ubicadas a 20 y 60 m ladera respectivamente, sobre esta zona se asientan más de 32 viviendas, es así que en base a los cambios morfológicos del terreno se a inferido el alineamiento de un escarpe que puede activarse en futuros eventos de geodinámica superficial (figura 24).

La geodinámica de la zona de estudio presenta movimientos en masa desde el año 1993 y se reactivaron durante el periodo del Niño Costero y recientemente el 25 de febrero del presente año, otros eventos geodinámicos identificados y cartografiados en la zona son los derrumbes y la erosión fluvial en donde las quebradas San José y El Tuco drenan el agua con dirección noroeste a sureste y que incrementan el caudal en temporada de lluvias causando una fuerte erosión en las laderas sobre las cuales se desarrollan los deslizamientos.



Figura 23. Ortofotos de los años 2017 y 2019 antes y después de los deslizamientos, se puede observar las viviendas afectadas en el sector El Mirador.

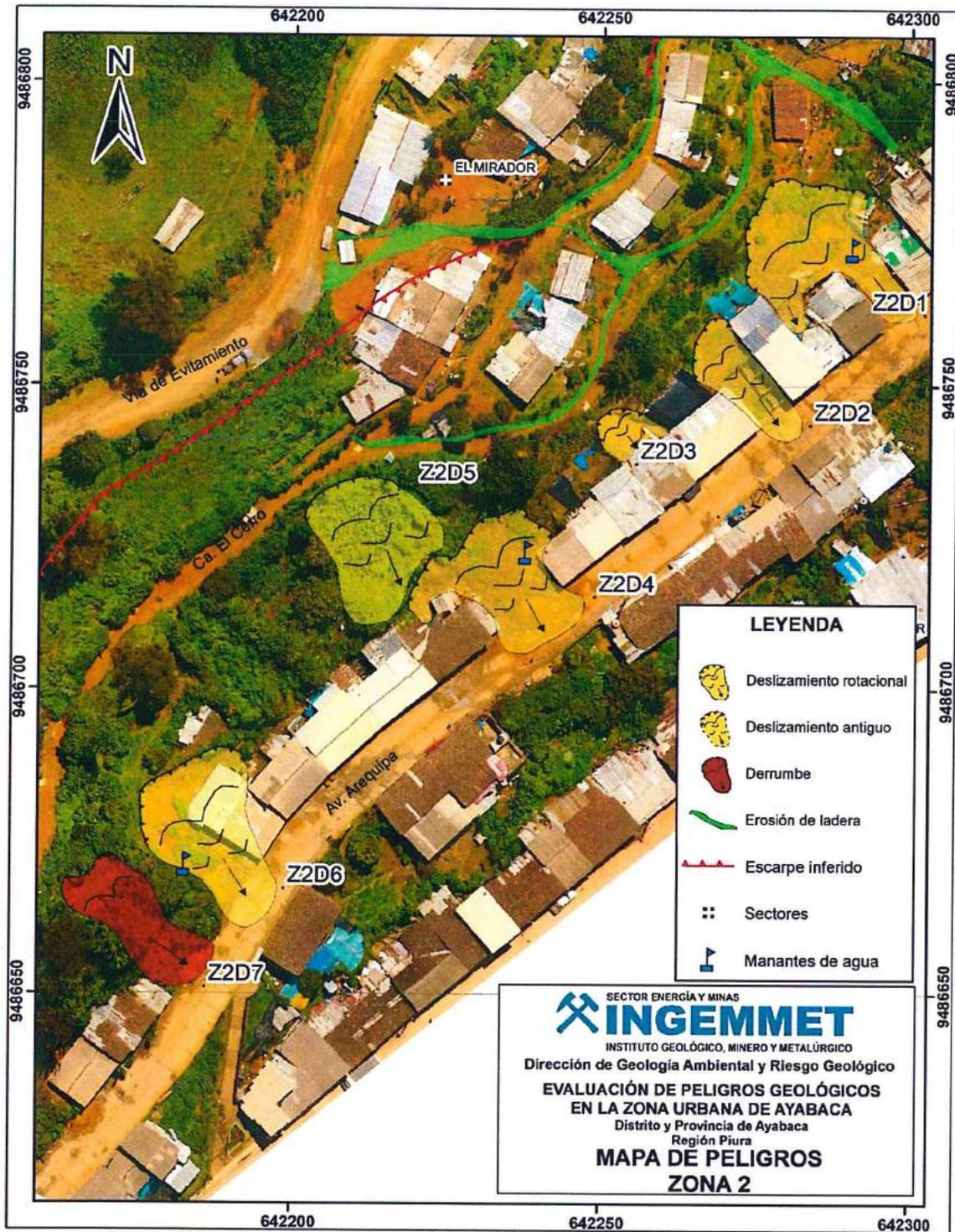


Figura 24. Detalle de los peligros geológicos en el sector El Mirador.

### 6.3. Daños

El deslizamiento reciente Z1D1, abarcó un área de 690 m<sup>2</sup>, destruyó 3 viviendas dejando a más de 12 damnificados, cerca de 40 familias cuyas casas se encontraban próximas a la zona afectada fueron evacuadas. Las conexiones de agua potable fueron destruidas dejando sin suministro a los barrios anexos. El deslizamiento antiguo Z1D3 destruyó 18 m del malecón de la calle El Cerro, mientras que, el derrumbe Z1D4 está causando hundimientos y grietas en la loza de concreto y viviendas adyacentes. En conjunto, la Zona 1 se extiende un área de 8450 m<sup>2</sup> alcanzando cerca de 9532 m<sup>2</sup> de zonas susceptibles a deslizamientos.

En la zona 2 los deslizamientos abarcan un área afectada de 7230 m<sup>2</sup>, han destruido 7 viviendas y otras 20 están en peligro, 15 familias fueron evacuadas ocurrido los deslizamientos. El derrumbe y deslizamiento antiguos afectaron conexiones de agua y desagüe. La superficie susceptible a presentar nuevos deslizamientos llega a 12 000 m<sup>2</sup> que podrían dejar incomunicado al distrito de Ayabaca (figura 25).

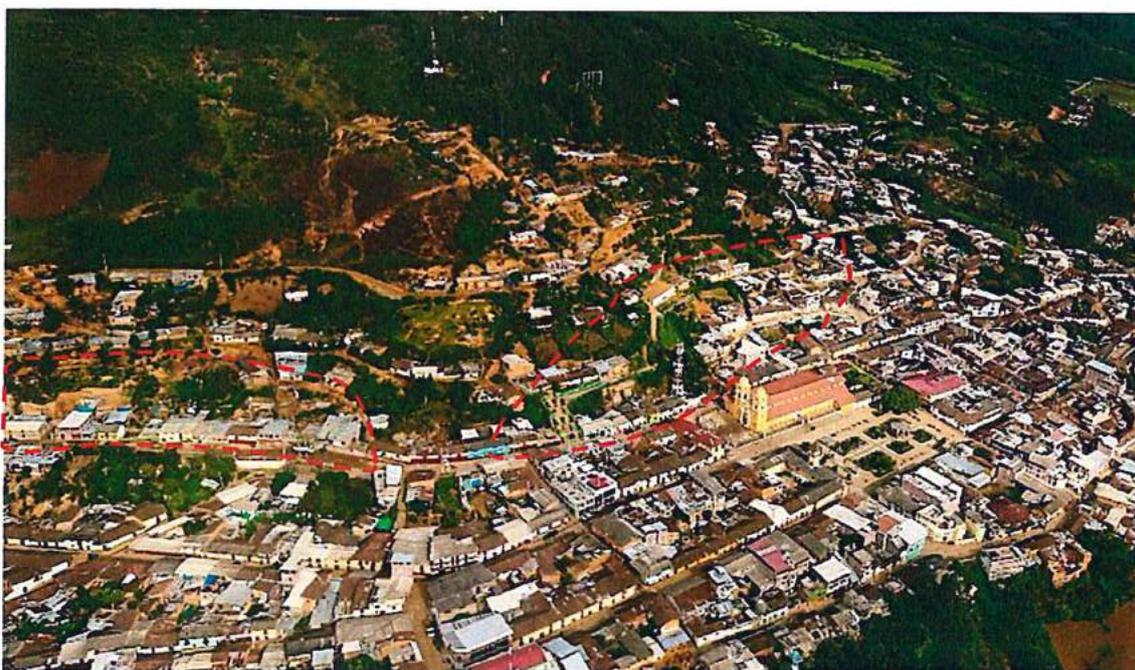


Figura 25. Vista panorámica de las zonas susceptibles a deslizamientos y el área de daños proyectada.

### 6.4. Mecanismos asociados a la inestabilidad de laderas

Los deslizamientos ocurren en todo el mundo, bajo diversas condiciones climáticas y en todo tipo de superficies y suelos, generan cuantiosas pérdidas económicas, cientos de damnificados, interrupción de vías de comunicación y servicios básicos; además de, producir grandes transformaciones geomorfológicas como alteración de cursos de agua, represamiento de ríos y quebradas, laderas desplazadas, etc.

Teniendo en cuenta esto, la tarea de los especialistas en peligros geológicos es identificar y caracterizar aspectos locales tales como la litología, geomorfología, clima y vegetación, estos patrones son conocidos como factores condicionantes y donantes, los cuales se enumeran a continuación:

## 6.5. Factores condicionantes

### 6.5.1. Tipos de rocas y suelos

Las rocas y sedimentos encontrados en los escarpes y taludes próximos a los deslizamientos están conformados por capas de limo arcillas, calizas arenosas y calizas bituminosas fracturadas; en conjunto forman un suelo incompetente y muy frágil (figura 26).



Figuras 26 a y b. Limoarcillas de plasticidad media a alta, saturadas e intercalas con calizas bituminosas.

Los afloramientos de rocas cartografiados en los alrededores de las zonas 1 y 2 tienen buzamientos de 20°, estratos inclinados a favor de la pendiente lo que incrementa la formación de probables planos de fallas que favorece la ocurrencia de estos eventos de remoción en masa (figura 27).

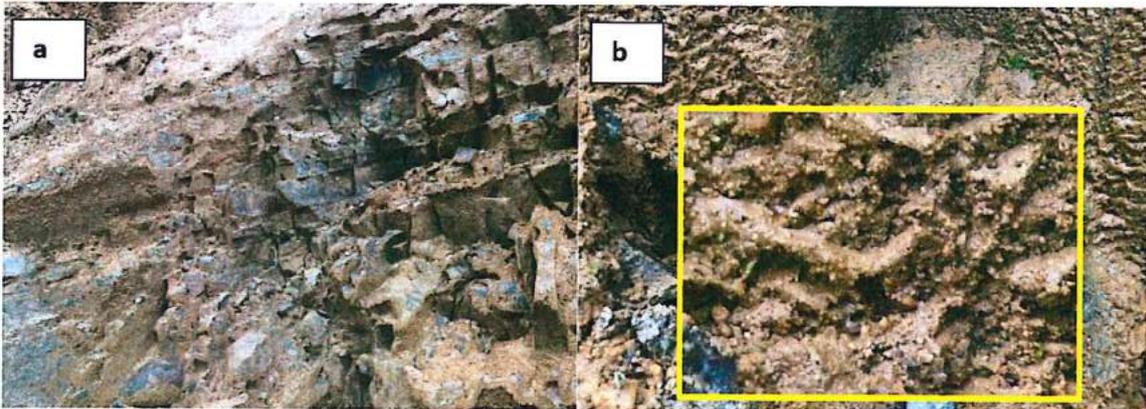


Figura 27 (a y b). Afloramientos de rocas fracturadas con buzamientos preferenciales a favor de la pendiente que muestran filtraciones de agua.

### 6.5.2. Geomorfología

La morfometría de la superficie sobre la cual se desarrollan los deslizamientos presenta pendientes superiores a 40° tales como las montañas y el piedemonte descritos en el ítem 4 (figura 28).

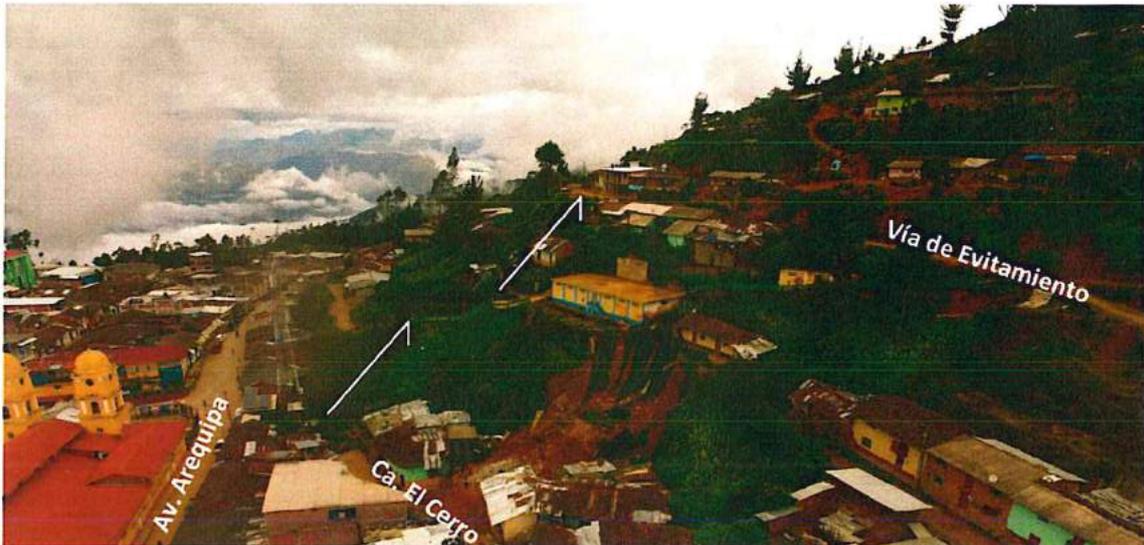


Figura 28. Pendientes observadas en las zonas afectadas por deslizamientos.

### 6.5.3. Actividad antrópica

El agua de escorrentía fluye por toda la zona de inspección a través de canales, acequias y quebradas no revestidas; parte del agua se infiltra al subsuelo saturando los sedimentos e incrementando la inestabilidad de las laderas y taludes (figura 29). Las quebradas San José y El Tuco adyacentes a los deslizamientos han originado zonas de profunda erosión en suelos poco compactos, además de recolectar aguas provenientes de conexiones deficientes.



Figura 29 (a). Canal cuneta que desciende de la Vía de Evitamiento ubicada ladera arriba. (b). Conexiones de agua y desagüe en mal estado. (c) Zonas de erosión denominadas como cárcavas. (d). Canales y acequias no revestidas que erosionan las laderas.

Finalmente, se han identificado varios puntos donde se observan además de suelos altamente saturados, filtraciones de agua, en los escarpes y laderas

delimitados en los deslizamientos y zonas adyacentes. En el Cuadro 02 se adjunta la ubicación de dichos puntos.

Código	Norte	Este	Referencia
1	9486731	642138	Vía de Evitamiento
2	9486834	642232	Vía de Evitamiento
3	9486774	642290	Av. Arequipa-deslizamiento
4	9486721	642237	Av. Arequipa-deslizamiento
5	9486672	642182	Av. Arequipa-deslizamiento
6	9486882	642358	Próxima a la Q. El Tuco
7	9487004	642392	Deslizamiento El Cerro
8	9487071	642198	Cerro El Calvario

Cuadro 02. Puntos de manantes de agua en laderas y taludes.

## 6.6. Factores detonantes

### 6.6.1. Precipitaciones pluviales

Las lluvias son consideradas el principal factor detonante de los movimientos en masa. Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), la estación Meteorológica automática de la ciudad de Ayabaca registró precipitaciones durante todo el mes de febrero del presente año con picos máximos los días 9 y 24 de febrero con 60 y 90 mm respectivamente, los deslizamientos en los sectores inspeccionados ocurrieron el día lunes 25 del mismo mes, otro parámetro analizado es la humedad de la zona que supera el 80% (figura 30).

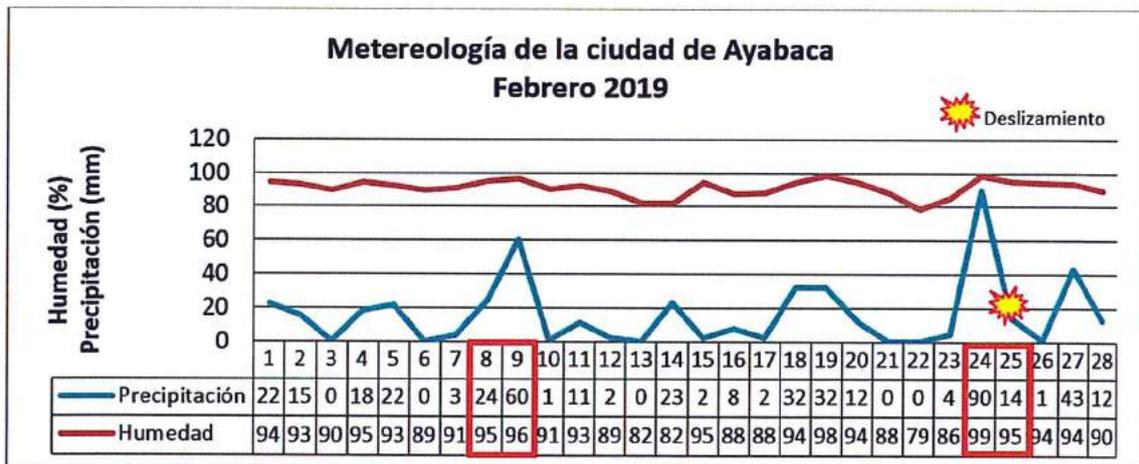


Figura 30. Precipitaciones en el mes de febrero de la ciudad de Ayabaca. (Datos referenciales sin filtrar).

### 6.6.2. Sismos

Durante el mes de febrero del presente año no ocurrieron sismos importantes en la zona de estudio o a nivel de la Región Piura que podrían relacionarse a la activación de los deslizamientos ocurridos en la ciudad de Ayabaca.

Sin embargo, recientemente el sismo del 26 de mayo ocurrido en el distrito de Lagunas, Provincia de Alto Amazonas en Loreto fue registrado por la red acelerométrica del CISMID a nivel nacional (CISMID, 2019).

La estación de Piura ubicada en el local de SENCICO registró aceleraciones máximas del terreno (PGA) de 20, 16 y 11 cm/s<sup>2</sup> en las componentes EO, NS, UD (cuadro 03); estos parámetros ayudan a comprender el efecto de sitio que causó el paso de las ondas sísmicas producidas por el sismo que alcanzó una magnitud de 8.0.

Orientación	Ubicación (Distrito, Provincia, Departamento)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - HUANCAYO	-8.00
NS		-6.97
UD		5.18
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - ICA	5.56
NS		6.76
UD		-3.84
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - IQUITOS	-81.08
NS		75.98
UD		67.55
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - PIURA	20.84
NS		16.33
UD		11.09
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - TRUJILLO	44.67
NS		-39.08
UD		24.13
EO	Gerencia Zonal de SENCICO - LIMA	7.89
NS		8.08
UD		-6.93

Cuadro 03. Aceleraciones máximas en las estaciones acelerográficas de SENCICO.

Las intensidades sísmicas estimadas por Servicio Geológico de Estados Unidos USGS llegaron a 3 y 4 MMI para la zona de estudio (figura 31).

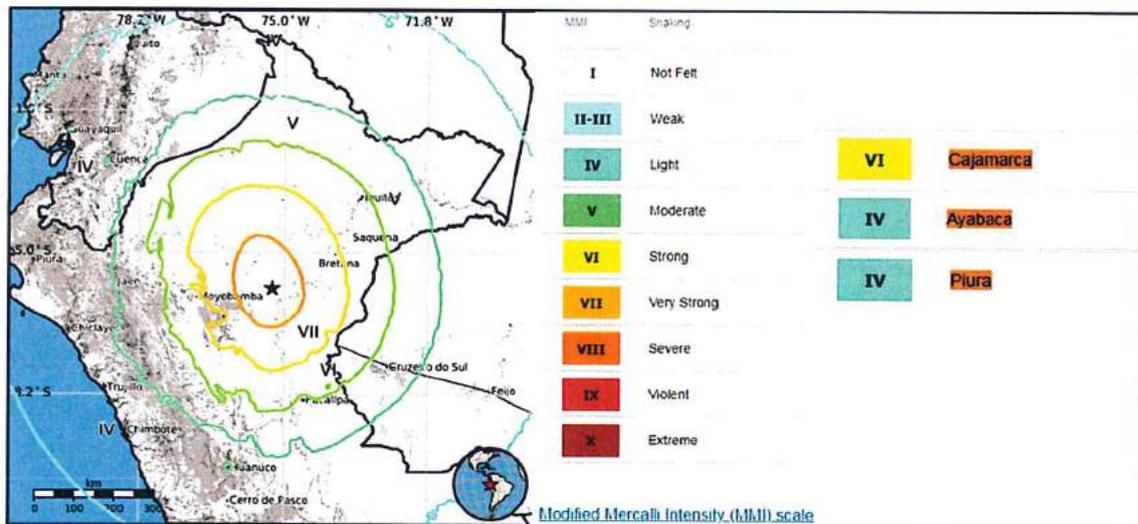


Figura 31. Intensidades sísmicas estimadas (USGS, 2019).

Si bien en el norte del país, específicamente en la Región Piura no ocurren sismos de regular intensidad frecuentemente, debe de tomarse en cuenta el efecto de sitio que la ondas sísmicas producen al atravesar diferentes tipos de materiales o suelos, habiéndose identificado las características geológicas de la zona afectada por los

deslizamientos se presenta un escenario muy crítico frente a este tipo de eventos sísmicos.

## **7. PROPUESTAS DE MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS**

A continuación, se describen algunas propuestas generales para mitigar las zonas afectadas por deslizamientos, estas medidas estructurales y no estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de nuevos deslizamientos y derrumbes.

### **7.1. Comunicación del peligro por movimientos en masa**

El presente informe brinda detalles de los peligros geológicos y zonas susceptibles a movimientos en masa, esta información debe ser oportunamente recibida y entendida por las autoridades, tomadores de decisiones y pobladores que viven en las zonas afectadas, con la finalidad de alcanzar los siguientes objetivos:

- Aceptar la probabilidad de que ocurra un evento de mayor magnitud (zonas susceptibles) a los ya ocurridos y que causarían un gran impacto con víctimas humanas y daños estructurales.
- Prevenir los efectos y consecuencias sobre el área urbana, las estructuras y la actividad socioeconómica teniendo en cuenta que dicha ciudad es un punto importante de congregación religiosa.
- La ubicación del punto de reubicación prevista en caso de la ocurrencia de nuevos deslizamientos.

Estos aspectos pueden ser socializados a través de: boletines de prensa, folletos, reuniones para debate, carteles de advertencia, anuncios en medios como radio y televisión local, conferencias, etc.

### **7.2. Medidas no estructurales**

La forma más eficiente de abordar los peligros geológicos es evitar la construcción de áreas urbanas en laderas con pendientes fuertes o donde existan antecedentes de la ocurrencia de movimientos en masa.

A continuación, se proponen algunas, medidas para el manejo de estas zonas:

- Los canales, acequias y cunetas deben ser revestidos (concreto, mampostería, terrocemento entre otros) para minimizar la infiltración y saturación de los terrenos.
- No debe construirse reservorios de agua sin revestimiento, ya que esto favorece la infiltración y saturación del terreno.
- La remoción de materiales a través del corte de laderas y taludes para la autoconstrucción de viviendas puede favorecer la infiltración, saturación e inestabilidad de laderas.

El desarrollo de vegetación natural (pastos, malezas, arbustos, árboles) contribuye a atenuar el proceso de incisión rápida de las masas deslizantes; no obstante, este seguirá produciéndose en forma lenta hasta alcanzar el equilibrio natural entre el suelo y la vegetación nativa.

### 7.3. Medidas estructurales

#### 7.3.1. Zanjas de coronación

Las zanjas en la corona o en la parte alta de un talud, son utilizadas para interceptar y conducir adecuadamente las aguas lluvias y evitar su paso por el talud. La zanja de la corona no debe construirse muy cerca del borde superior del talud para evitar que se convierta en activadora de un deslizamiento en cortes recientes; o en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en deslizamientos activos; o se produzca la falla de la corona del talud o escarpe (figura 32).

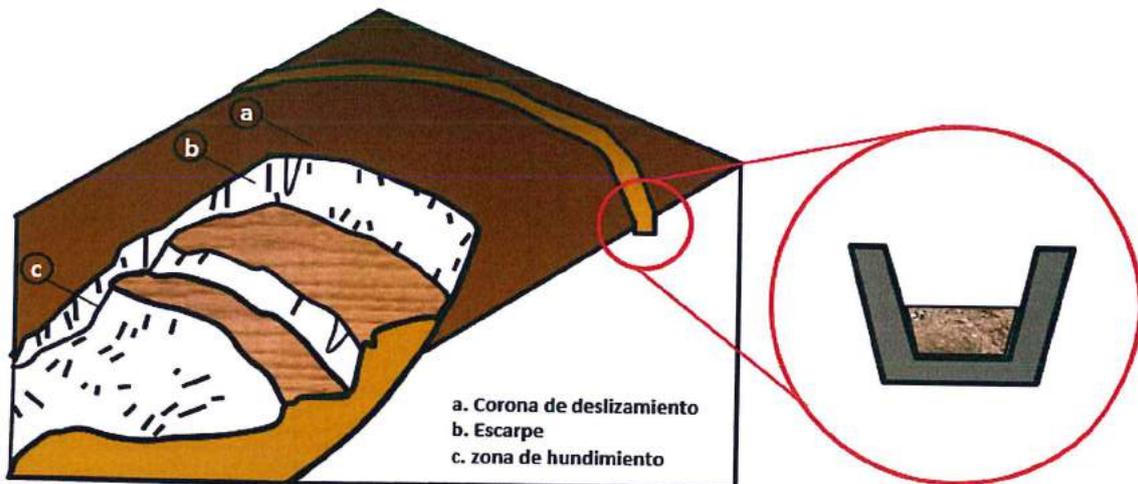


Figura 32. Esquema de zanjas de coronación o drenaje de deslizamiento.

#### 7.3.2. 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 33).



Figura 33. Esquema de drenaje dendrítico.

#### 7.3.3. 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 34).

En los taludes de corte, normalmente se diseñan banquetas de 1 a 2 m de ancho cada 5 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.

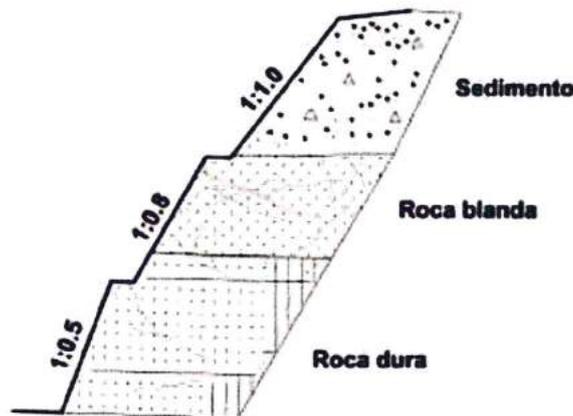


Figura 34. Condiciones de terreno y forma de taludes.

## 8. ZONA PROPUESTA PARA REUBICACIÓN

Los trabajos de campo determinaron el área probable para reubicación y albergue, el cual se encuentra en las siguientes coordenadas (cuadro 04):

Código	Norte	Este
1	9487874	641616
2	9487847	641730
3	9487619	641669
4	9487651	641564

Cuadro 04. Polígono propuesto para reubicación.

La zona se encuentra 1.2 km al noroeste del centro de la ciudad de Ayabaca en la parte alta del cerro El Calvario, la geomorfología corresponde a una superficie medianamente ondulada con pendientes menores a 20°, este tipo de relieves de baja pendiente tienden a formar zonas de erosión por escorrentía factor a tomar en cuenta para una futura planificación. Para habilitar la probable área de reubicación se deben tener las siguientes consideraciones:

- Estudio de suelo para caracterizar las mejores condiciones de cimentación de los suelos del área disponible.

- Construir un drenaje pluvial, para evitar la infiltración de agua hacia el subsuelo.
- La expansión urbana debe ser controlada y ordenada para asegurar la seguridad física del área urbana.
- Los cortes de ladera próximos a esta área tendrán que realizarse con dirección técnica especializada.

## RECOMENDACIONES

- a) Debido a las condiciones geológicas y geodinámicas de la zona, se recomienda la reubicación total de las viviendas ubicadas entre la Av. Arequipa, Calle El Cerro y Vía de Evitamiento.
- b) Se debe de catalogar las zonas afectadas como no habitables y prohibir la construcción de nuevas edificaciones; así como, la modificación de los taludes para diversas finalidades.
- c) Se debe de reubicar el Reservorio de Agua próximo a la corona del deslizamiento y reparar las instalaciones de agua y desagüe ya que la mayoría se encuentran en mal estado, permitiendo fugas de agua que luego se infiltran al subsuelo.
- d) Las quebradas, acequias, canales y drenajes deben ser impermeabilizados con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y el avance de la erosión.
- e) Se debe de actualizar el uso de suelos de la ciudad en base a las zonas delimitadas como susceptibles a deslizamientos, replanteándolas como áreas a reforestar y áreas de amortiguamiento respetando un margen prudente con el límite de áreas urbanas.
- f) Se debe de implementar un sistema de alerta y monitoreo de movimientos en masa para prevenir a la población ante la ocurrencia de nuevos procesos geodinámicos.
- g) Se recomienda realizar estudios complementarios tales sondeos eléctricos verticales (SEV), tomografías eléctricas y vibración ambiental para caracterizar en profundidad el basamento rocoso y el contacto con la cobertura reciente susceptible a deslizamientos; además de, los flujos de agua en el subsuelo.

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

## REFERENCIAS

- CISMID (2019). Acelerogramas del Sismo de Lagunas, Amazonas del 26 de mayo de 219.
- CEREN (2001). Estudio de suelos y mapa de peligros de la ciudad de Ayabaca.
- 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.
- Highland, L. & Bobrowsky, P. (2008) Manual de derrumbes: Una guía para entender todo sobre los derrumbes.
- Hutchinson, J.N. (1988). Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, en Memorias, 5th International Conference on Landslides.
- Osterkamp, W.R. (2008). Annotated Definitions of Selected Geomorphic Terms and Related Terms of Hydrology, Sedimentology, Soil Science and Ecology. USGS Open File Report 2008-1217. Reston, VA: U.S. Geological Survey.
- 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.
- Quillana, A., Moreno, M., Yaipén J. (Cenepred-2017). Informe de Evaluación de Riesgo por erosión pluvial en el centro poblado Ayabaca.
- Reyes, R. & Caldas, V. (1987) - Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos, Pomahuaca. Hojas 9-c, 9-d, 10c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d, 12-e, 1: 100 000 INGEMMET, Boletín N° 39, Serie A.
- 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.
- Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, M. (2009). Zonas críticas por peligros geológicos en la región Piura-primer reporte.
- Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, M. (2013). Riesgo geológico en la región Piura. Boletín N° 52 serie C: Geodinámica e ingeniería geológica.
- USGS 2019 - Reporte.  
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us60003sc0/executive>