

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

**Informe Técnico N° A7083**

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO LA LAGUNA

Región Amazonas  
Provincia Utcubamba  
Distrito Cajaruro



AGOSTO  
2020

## CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 1  |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                      | 2  |
| 2. ANTECEDENTES.....                                       | 2  |
| 3. ASPECTOS GENERALES.....                                 | 3  |
| 3.1. Ubicación.....  | 3  |
| 3.2. Accesibilidad.....                                    | 3  |
| 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS .....                               | 5  |
| 4.1. Geología local .....                                  | 5  |
| 4.1.1. Formación Sambimera Miembro Superior (PN-s/s).....  | 6  |
| 4.1.2. Formación Sambimera Miembro Inferior (PN-s/i) ..... | 6  |
| 4.1.3. Depósitos Cuaternarios Recientes .....              | 6  |
| 5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO .....                            | 7  |
| 5.1. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) .....             | 7  |
| 5.2. Mapa de Pendientes .....                              | 7  |
| 5.3. Unidades Geomorfológicas .....                        | 14 |
| 5.3.1. Unidad de colinas y lomadas.....                    | 14 |
| 5.3.2. Unidad de Piedemonte .....                          | 15 |
| 6. PELIGROS GEOLÓGICOS.....                                | 17 |
| 6.1. Definición de deslizamientos .....                    | 18 |
| 6.2. Flujo.....  | 18 |
| 6.3. Erosión de laderas (cárcavas).....                    | 19 |
| 6.4. Movimientos en masa en el caserío La Laguna.....      | 21 |
| 6.4.1. Deslizamientos en el caserío La Laguna .....        | 22 |
| 6.4.2. Flujos de lodo y detritos.....                      | 9  |
| 6.4.3. Erosión de laderas (Cárcavas) .....                 | 11 |
| 7. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA.....              | 11 |
| 8. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS..... | 22 |
| 8.1. Factores condicionantes .....                         | 22 |
| 8.1.1. Litología y Depósitos Cuaternarios.....             | 22 |
| 8.1.2. Pendientes.....                                     | 22 |
| 8.2. Factor desencadenante.....                            | 23 |
| 8.2.1. Precipitaciones pluviales .....                     | 23 |
| 8.2.2. Sismo de Loreto 2019.....                           | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 9. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN .....              | 25 |
| 9.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía ..... | 25 |
| 9.1.1. Canal de coronación .....   | 25 |
| 9.1.2. Sistemas de drenaje espina de pescado .....                       | 26 |
| 9.2. Medidas estructurales para control de cárcavas .....                | 26 |
| CONCLUSIONES .....   | 31 |
| RECOMENDACIONES .....  | 32 |
| REFERENCIAS .....  | 33 |

# EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CASERÍO LA LAGUNA

**(Distrito de Cajaruro, Provincia Utcubamba, Región Amazonas)**

## RESUMEN

El caserío La Laguna se encuentra a 14.7 km al este de la ciudad de Bagua Grande, pertenece al distrito de Cajaruro, provincia de Utcubamba, región Amazonas. Debido a lluvias intensas que se presentaron en febrero del 2019, que superaron el promedio mensual de la región, la zona urbana de La Laguna fue afectada por deslizamientos, flujos de lodo y detritos y cárcavas.

El presente informe describe la interpretación geológica-geomorfológica y geodinámica de la evaluación de peligros geológicos.

El área urbana de La Laguna se asienta sobre lomadas y colinas en rocas sedimentarias, con pendiente medias, modeladas por antiguos procesos de movimientos en masa y escorrentía superficial; los abanicos aluviales se encuentran limitando con los piedemontes y lecho fluvio-aluvial, que forma la quebrada Agua Sucia con una gradiente promedio de 25°; todas estas geoformas se encuentran condicionadas y modeladas por estructuras geológicas tipo anticlinales y sinclinales.

La litología aflorante, está conformada por arcillitas y limoarcillitas con intercalaciones de lutitas en capas pardo amarillentas a grises, presente en los escarpes de la quebrada Agua Sucia que, al ser erosionados, transportados y depositados, forman suelos arcillosos poco compactos susceptibles a procesos de remoción en masa.

Los deslizamientos recientes, flujos y cárcavas; se desarrollan a escasos metros de las viviendas; los primeros poseen escarpes que alcanzan hasta 820 m de longitud, 580 m de ancho y más de 54 hectáreas de terrenos de cultivo afectados, las cárcavas afectan la trocha carrozable de acceso al poblado, además es constantemente interrumpida por la quebrada en temporada de lluvias intensas por donde descienden flujos.

La geodinámica por peligros geológicos se encuentra activa, cuyos factores condicionantes son tipos de rocas y suelos muy susceptibles a procesos de movimientos en masa, que están sujetos a reactivarse ante lluvias intensas o sismos.

De acuerdo a la intensidad y magnitud de los eventos registrados en el sector, los daños probables pueden ser graves, tanto para las viviendas y pobladores; para lo cual se deben de tomar en cuenta las medidas correctivas expuestas en este informe.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), brinda asistencia técnico-científica e información actualizada, oportuna y accesible en gestión de riesgo de desastres a los gobiernos regionales y locales, a través de la caracterización y evaluación de zonas urbanas o rurales, que podrían ser afectadas por peligros geológicos que pudiera desencadenar en desastres. Mediante Oficio N° 330-219-MDC la Municipalidad Distrital de Cajaruro en coordinación con la Oficina Local de Defensa Civil, solicitan la evaluación del caserío La Laguna y anexos que están siendo afectados por deslizamientos y flujos.

Para lo cual se designó a los Ings. Cristhian Chiroque y Luis León, realizar una inspección geológica, geomorfológica y geodinámica en la zona. Los trabajos de campo se realizaron los días 12, 13 y 14 de febrero, los cuales abarcaron la identificación y caracterización de los tipos de peligros geológicos, la descripción de posibles factores condicionantes litológicos, geomorfológicos y de relieve.

Esta información fue complementada con la recopilación de antecedentes, descarga de imágenes satelitales y levantamiento fotogramétrico realizado con drone, a fin de realizar una fotointerpretación de los eventos ocurridos en el caserío La Laguna.

Este informe detalla los resultados obtenidos producto de la interpretación geológica y geodinámica de los eventos estudiados, en la cual se brinda conclusiones y recomendaciones puntuales, que servirán para mitigar los daños y efectos causados a las estructuras asentadas en y próximas a los eventos geodinámicos; este documento se constituye en una herramienta, para que las autoridades solicitantes realicen un adecuado ordenamiento territorial.

## 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 Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba y Bolívar (Sánchez et al. 1995). Según la geología descrita a escala 1:100 000, los sedimentos están conformados arcillas limosas de color pardo amarillento, que dan origen a relieves suaves y muy erosionables correspondientes a la Formación Celendín. Hacia el norte afloran calizas gris oscuras con niveles delgados de lutitas y margas, que conservan una continuidad sedimentaria, con calizas nodulares e intercalaciones de lutitas del Grupo Quilquiñan. En la zona de estudio localmente se han observado lutitas y limolitas con intercalaciones de calizas, y tobas grises de la Formación Sambimera Miembro Superior, además de arcillitas y limoarcillitas y margas pardo amarillentas a grises.
- Riesgo Geológico en la Región Amazonas (Medina, et al. 1995). El estudio destaca que la zona de estudio presenta susceptibilidad alta a la ocurrencia de procesos de remoción en masa. Se adjunta una tabla de zonas afectadas por deslizamientos describiendo substratos de mala calidad afectados por procesos antiguos debido a la pendiente del terreno, intensas precipitaciones y uso inadecuado de agua y escurrentía.
- Informe técnico preliminar “Zonas críticas de la Región Amazonas” (Medina y Dueñas, 2007), dentro del inventario de puntos críticos se identificaron deslizamiento en el sector Puerto Naranjitos como áreas susceptibles a la

ocurrencia de derrumbes en talud superior de carretera Fernando Belaunde Terry.

- Geología de los Cuadrángulos de Aramango y Bagua Grande, 11g, 12g – [Boletín A 142] (Chacaltana et al., 2011). El boletín a escala 1:50, 000 describe que los materiales y sedimentos de la zona estudio están conformados por una secuencia de lutitas y limoarcillitas, correspondiente al miembro superior de la Formación Sambimera; mientras que, al norte el miembro inferior aporta limoarcillitas, limolitas tobáceas y areniscas de grano grueso. Al norte se ubica la Formación Fundo El Triunfo, cuya sección típica la constituyen una secuencia detrítica de margas y lutitas intercaladas con capas delgadas de areniscas. Del análisis de las secuencias de afloramientos se concluye que, en la zona existe una continua aportación de materiales, que al erosionarse forman sedimentos arcillosos susceptibles a procesos de movimientos en masa.

### 3. ASPECTOS GENERALES

#### 3.1. Ubicación

El caserío La Laguna se ubica a 14.7 km al este de la ciudad de Bagua Grande, distrito de Cajamaro, provincia de Utcubamba región de Amazonas (figura 01). Las coordenadas centrales del área de inspección con referencia al centroide del área urbana y la vía El Tigre - Santa Isabel son WGS84-17S 798937E, 9361038N a una altitud promedio de 590 m.

#### 3.2. Accesibilidad

El equipo de trabajo inicia su desplazamiento desde la ciudad de Piura hacia Cajamarca, para luego dirigirse hacia el norte rumbo a Chota. Desde aquí se continuó hasta el cruce del centro poblado San Juan de Chiple (cruce Chiple) tomando la vía Fernando Belaunde Terry con dirección a Bagua Grande.

Desde Bagua Grande existe un tramo asfaltado de 18 km que pasa por los sectores Curva Santa Cruz, Naranjos Altos, Santa Isabel hasta el poblado El Tigre, luego se llega a la zona de estudio por una trocha afirmada con dirección sur de 3.5 km. En total la ruta se realiza en 18 horas aproximadamente (Cuadro 01).

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

| Ruta                          | Tipo de Vía | Estado de conservación | Tiempo (horas) |
|-------------------------------|-------------|------------------------|----------------|
| Piura – Cajamarca             | Asfaltada   | Regular                | 8 h 30 min     |
| Cajamarca – Chota             | Asfaltada   | Regular                | 4 h            |
| Chota – Cruce Chiple          | Asfaltada   | Regular                | 3 h 15 min     |
| Cruce Chiple – Bagua Grande   | Asfaltada   | Bueno                  | 1 h 15 min     |
| Bagua Grande – Naranjos Altos | Asfaltada   | Bueno                  | 20 min         |
| Naranjos Altos – El Tigre     | Asfaltada   | Regular                | 15 min         |
| El Tigre – La Laguna          | Afirmada    | Regular                | 20 min         |

Fuente: Elaboración propia.

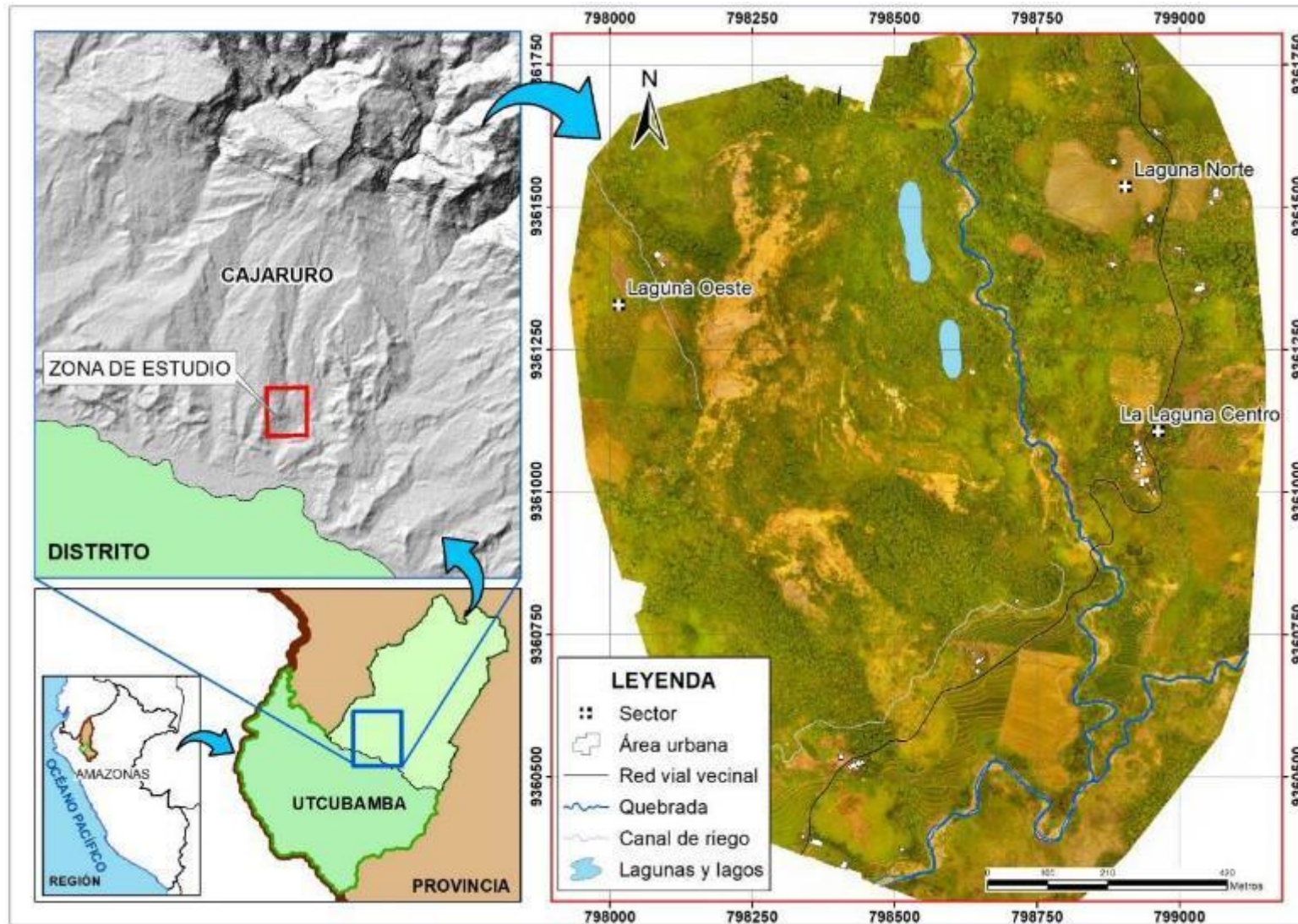


Figura 01. Ubicación de la zona de estudio.

#### 4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

La geología de la zona comprende los cuadrángulos geológicos de Aramango y Bagua Grande Hojas 11-g y 12-g a escala 1:50 000 (Chacaltana, et al. 2011).

La litología, está conformada por afloramientos sedimentarios de la Formación Sambimera constituida por arcillitas, limoarcillitas y lutitas; cuyo miembro inferior consta de limoarcillitas, limolitas tobáceas y areniscas. Al norte afloran una secuencia detrítica de margas y arcillitas intercaladas con capas delgadas de areniscas de la Formación Fundo El Triunfo. En el centro poblado Puerto Misquiyacu afloran lutitas y limolitas grises a verdes correspondientes a la Formación Celendín (figura 02).

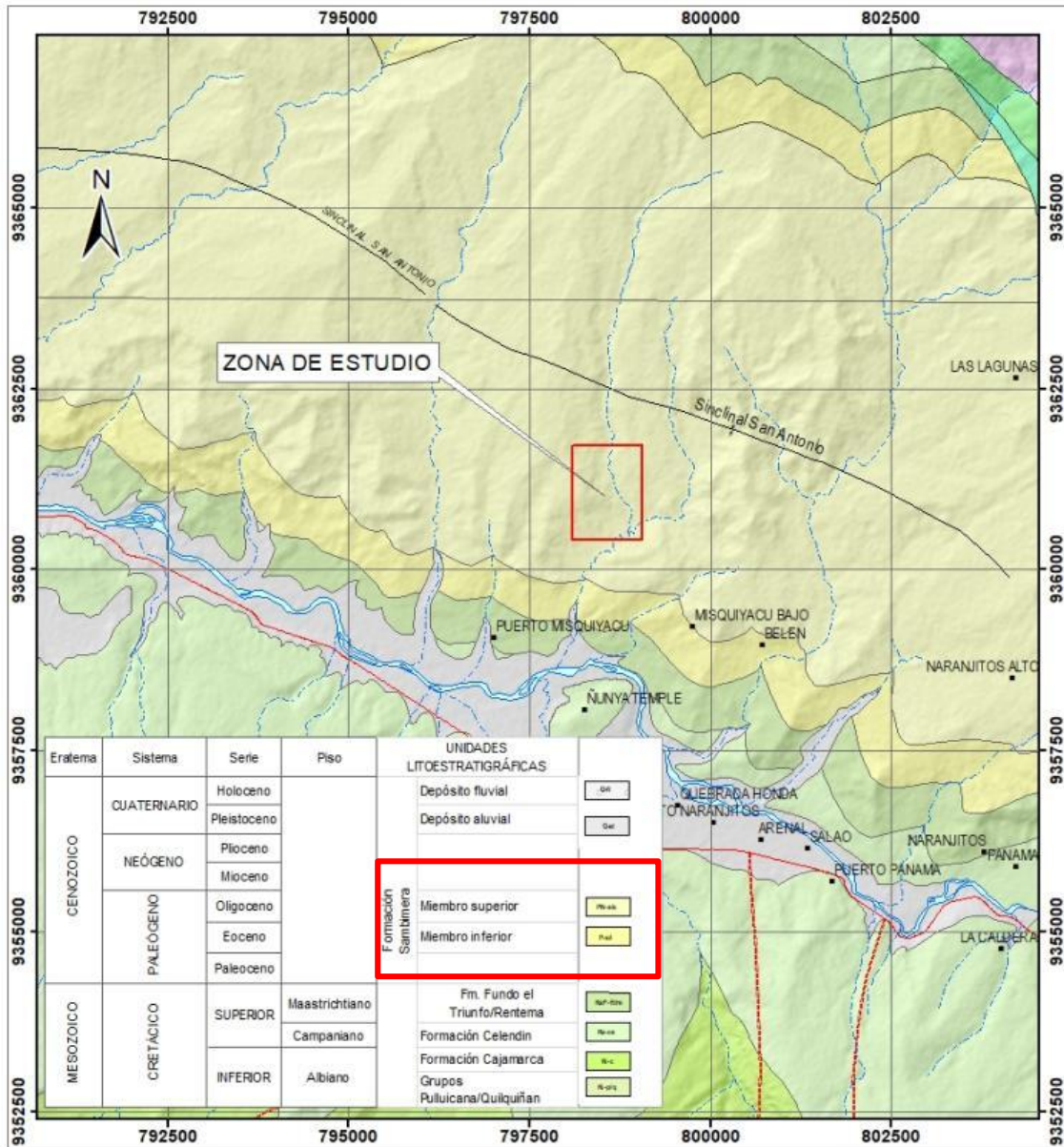


Figura 02. Geología a escala regional del cuadrángulo de Bagua Grande y la zona de estudio.

##### 4.1. Geología local

A continuación, se describen las características litológicas de los afloramientos observados en la zona de estudio:



#### 4.1.1. Formación Sambimera Miembro Superior (PN-s/s)

Son afloramientos de lutitas y limoarcillitas amarillentas a pardo rojizas con intercalaciones de calizas y tobas grises, este tipo de secuencias se observan en el sector La Laguna Oeste, las capas se emplazan en el flanco ascendente del Sinclinal San Antonio (figura 03).



Figura 03. Vista de este a oeste de las secuencias conformadas por lutitas y limoarcillitas amarillentas a rojizas.

#### 4.1.2. Formación Sambimera Miembro Inferior (PN-s/i)

Las secuencias sedimentarias Sambimera Miembro Inferior afloran en los cortes del cauce de la quebrada Agua Sucia que cruza el caserío La Laguna de norte a sur, se han identificado limoarcillitas, limolitas tobáceas y areniscas con niveles de margas de coloración pardo amarillento a gris brunáceo (figura 04).



Figura 04. Secuencia sedimentaria de arcillitas y limoarcillitas de la Formación Sambimera.

#### 4.1.3. Depósitos Cuaternarios Recientes

Los materiales inconsolidados están conformados por minerales, materia orgánica, agua y aire en los espacios vacíos entre los poros, estos se generan a partir de la alteración de una roca preexistente causada por los agentes atmosféricos que erosionan, transportan y depositan estos sedimentos formando una cobertura reciente de variada naturaleza y litología.

La capa aluvial Cuaternaria está conformada por arcillas arenosas y arenas limosas con gravas y clastos angulosos dispersos producto de antiguos procesos de movimientos en masa, esta capa más reciente está expuesta a erosión lo que crea inestabilidad en las laderas (figura 05).



Figura 05. Corte de talud natural presente en el escarpe principal del deslizamiento, se observan depósitos cuaternarios.

## 5. ASPECTO GEOMORFOLÓGICO

Para 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)

La zona urbana del caserío La Laguna se encuentra distribuida sobre relieves con diferentes elevaciones, el mayor porcentaje se concentra sobre superficies con elevaciones entre 590 y 670 m s.n.m. Las máximas elevaciones se observan al oeste con superficies que alcanzan los 710 m de altitud y donde se desarrollan los deslizamientos de mayor magnitud. Hacia el sur de La Laguna, en la confluencia de las quebradas Agua Sucia y El Ron el relieve llega a 513 m s.n.m, descendiendo hasta el río Utcubamba a 480 m de altitud. Cabe señalar que, las lagunas ubicadas a 450 m al noroeste de la zona urbana se encuentran entre 614 y 617 m s.n.m (figura 06).

### 5.2. Mapa de Pendientes

La zona de estudio abarca 156 has, de las cuales el 20% equivalente a 31 has presenta relieves entre muy escarpados a muy fuerte pendiente, el 19% (29 has) presenta pendientes fuertes (15-25°), el 36% (56 has) tienen pendientes moderadas (5-15°); mientras que, aproximadamente 40 has son pendientes suavemente inclinadas a planas o llanas. Cabe destacar que, los relieves con pendientes muy escarpadas constituyen los escarpes de los deslizamientos que abarcan 8 has (figura 07).

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

| PENDIENTE EN GRADOS (°) | CLASIFICACIÓN        |
|-------------------------|----------------------|
| <1                      | Llano                |
| 1 – 5                   | Suavemente inclinado |
| 5 – 15                  | Moderado             |
| 15 – 25                 | Fuerte               |
| 25 – 45                 | Muy fuerte           |
| >45                     | Muy escarpado        |

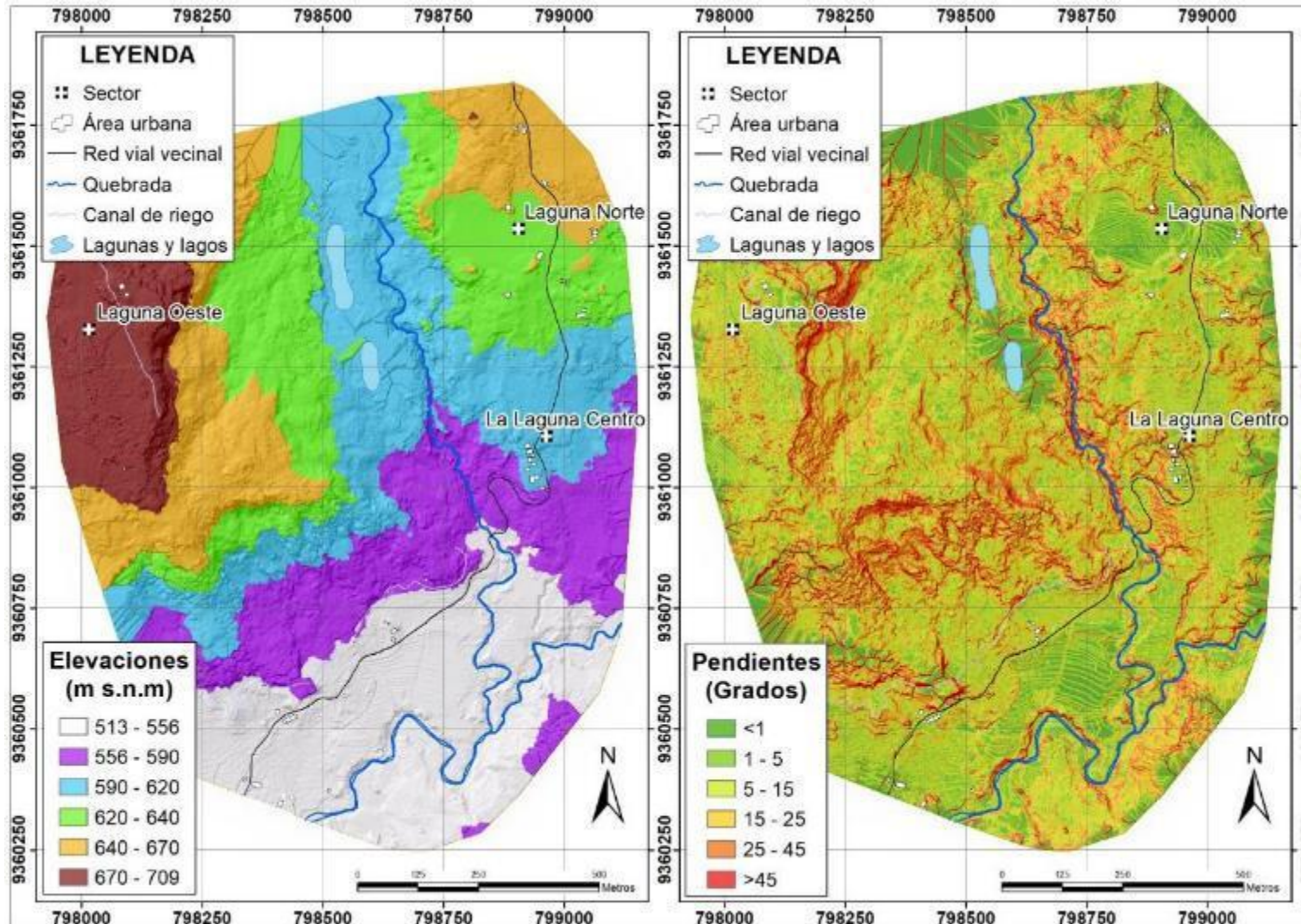


Figura 06. Modelo digital de elevaciones (MDE).

Figura 07. Mapa de pendientes.

### 5.3. Unidades Geomorfológicas

Según la geomorfología a escala regional contenida en el GEOCATMIN, la zona de estudio se asienta sobre una colina en roca sedimentaria; a escala local se observan lomas, colinas, piedemontes y abanicos aluviales desarrollados sobre materiales sedimentarios.

#### 5.3.1. Unidad de colinas y lomadas

Las colinas son porciones del relieve elevados por sobre la superficie que los rodea, tienen base y cima semi circular o circular con relieves suaves, redondeados o semiredondeados, alcanzan poca altura con desniveles entre 20 y 300 m, tienen pendientes con rangos medios a bajos que no superan los 45°, morfometría que controla la escorrentía dando un tipo de drenaje radial.

Las lomas o lomadas son elevaciones del terreno con cimas subredondeadas a semiplanas y pendientes menores a 35°. Se caracterizan por presentar una configuración basal alargada y con dos vertientes que se inclinan en dirección opuesta lo que define el tipo de drenaje enrejado.

#### Subunidad de colinas y lomadas estructurales en roca sedimentaria (RCL-rs)

Parte del área urbana de La Laguna se asienta sobre una colina, esta presenta relieves con pendientes suavemente inclinadas a moderadas y alcanza elevaciones de 590 m s.n.m, superficies modeladas en rocas sedimentarias (figura 08).

Las lomadas tienen un desarrollo preferencial con dirección norte a sur, alcanzan altitudes de 680 m y pendientes menores a 25°, este tipo de emplazamiento obedece a antiguos procesos de movimientos en masa desde las partes altas de las montañas hacia el valle, 5 viviendas se ubican sobre este tipo de geoforma al oeste del área urbana (figura 09).



Figura 08. Colina donde se asientan la mayor cantidad de viviendas del caserío La Laguna.

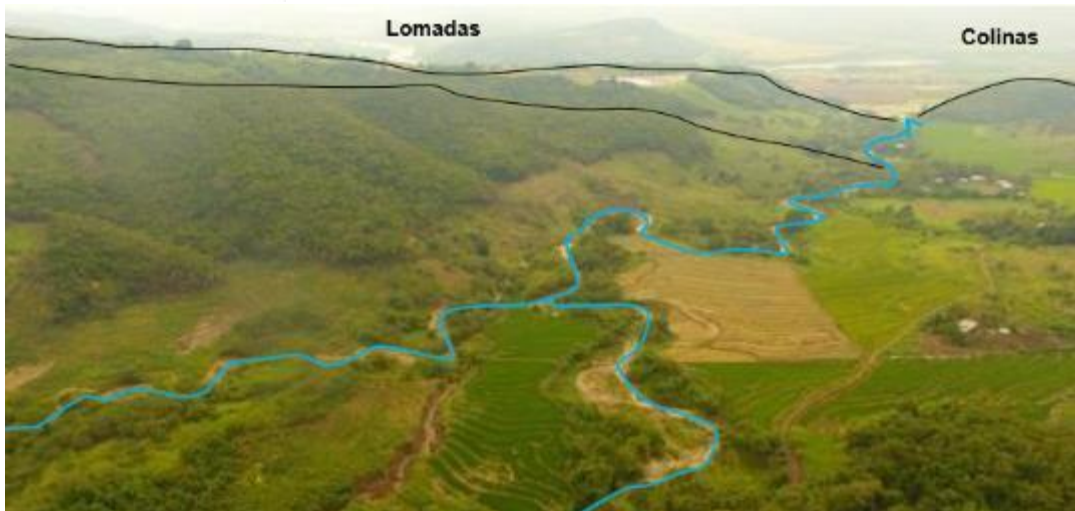


Figura 09. Vista de norte a sur de las lomadas próximas a la confluencia de las quebradas Agua Sucia y El Ron.

### 5.3.2. Unidad de Piedemonte

El piedemonte aluvial es una geoforma de transición entre las montañas y los abanicos aluviales o zonas más llanas o planas, presenta pendientes medias a bajas, su origen está relacionado al emplazamiento de depósitos provenientes de antiguos procesos de movimientos en masa.

#### Subunidad de piedemonte aluvial (P-al)

En la zona de evaluación existe un piedemonte que limita las colinas y lomadas con los abanicos aluviales, sobre estas geoformas se han emplazado la mayoría de depósitos de los deslizamientos alcanzando la base o pie de los mismos (figura 10).



Figura 10. Vista de oeste a este del piedemonte aluvial limitando con colinas próximas a la zona urbana de La Laguna.

#### Subunidad de abanico de piedemonte (Ab)

Los abanicos aluviales de piedemonte se han emplazado desde las partes altas de las montañas con pendientes bajas menores a 15° y las zonas llanas con pendientes menores a 5°, estas zonas se encuentran al sur de la zona de estudio y son empleadas como áreas de cultivo (figura 11).



Figura 11. Vista de norte a sur del abanico aluvial emplazado al este de la zona de estudio.

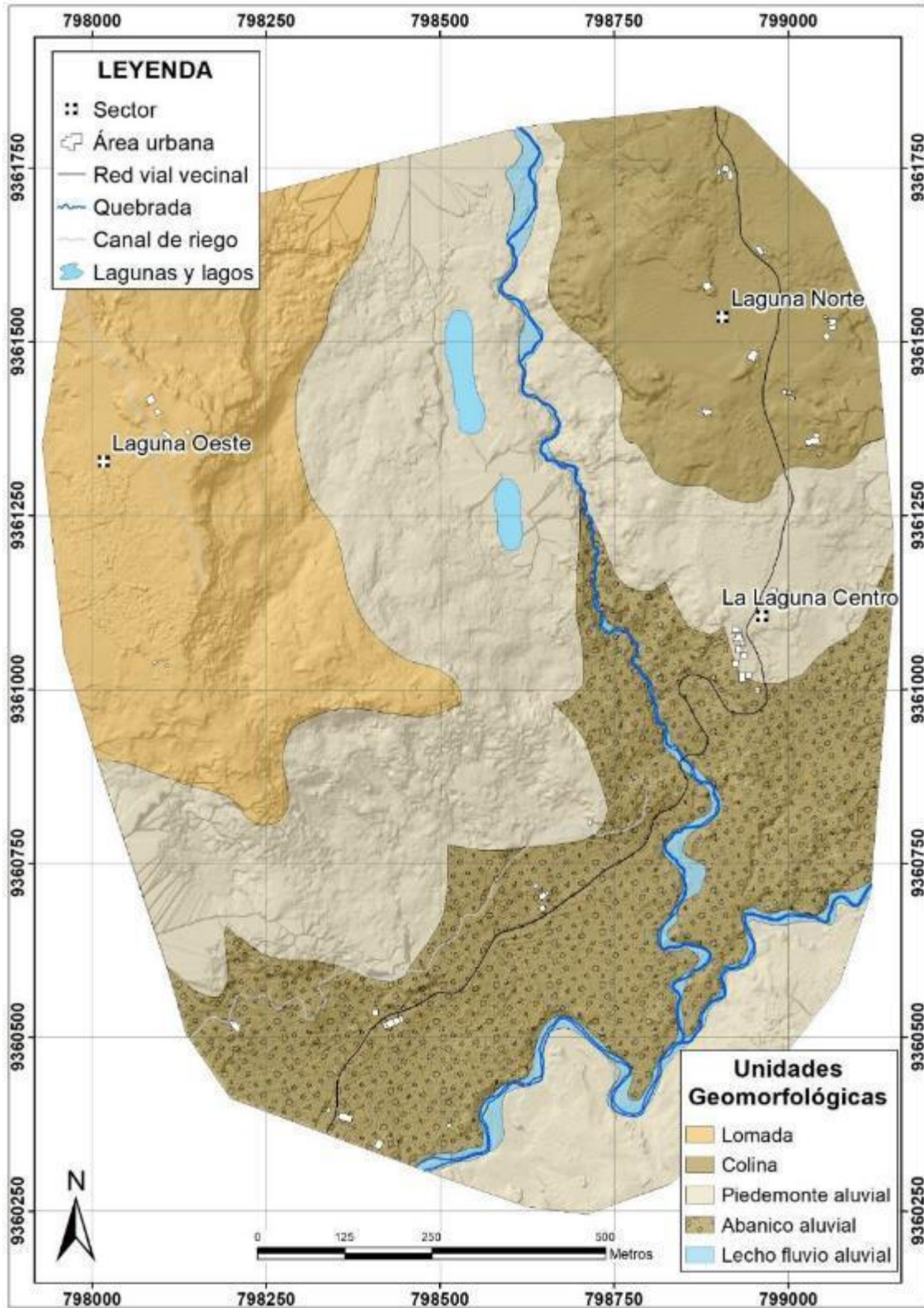


Figura 12. Unidades geomorfológicas en el caserío La Laguna.

## 6. PELIGROS GEOLÓGICOS

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).

Con los trabajos de campo se identificaron movimientos en masa tipo deslizamientos, flujos y erosión de laderas, que han sido representados a través del cartografiado geológico y geodinámico (figura 17).

### 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 14).



Figura 14. Deslizamiento de tipo rotacional, Adaptado de USGS (2008), GEMMA: PMA-GCA (2007).

### 6.2. Flujo

Según Varnes (1978), un flujo es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco (figura 15). En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída.

#### Flujo de Detritos (Huaico)

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos.

Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes (PMA: GCA, 2007). Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.



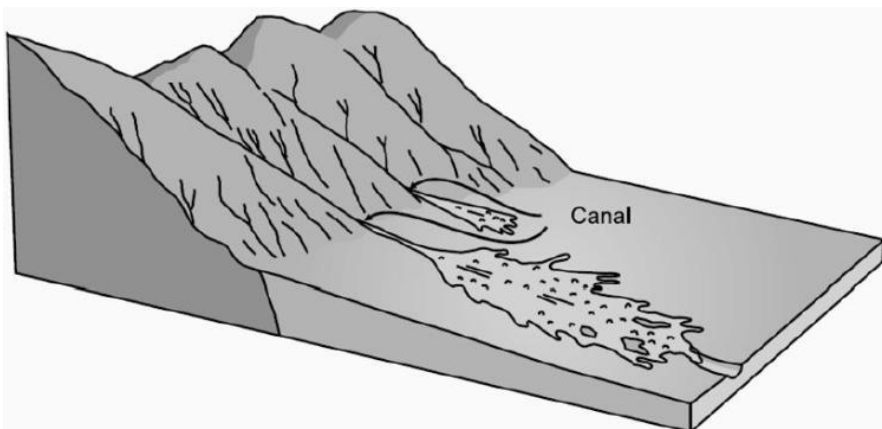


Figura 15. Esquema de un flujo canalizado (Cruden y Varnes, 1996).

### 6.3. Erosión de laderas (cárcavas)

Las incisiones que constituyen las cárcavas, se ven potenciadas por avenidas violentas y discontinuas, lluvias intensas o continuas sobre terrenos desnudos o por la concentración de flujos superficiales fomentados por obras de drenaje de caminos o carreteras.

En general, los cursos de agua fluctúan hacia un punto de equilibrio, de forma que, si el caudal se incrementa, el canal se ensanchará, profundizará o incrementará su pendiente hasta conseguirlo, y sólo podrá recuperar su estado original si las alteraciones son leves; pero si la cárcava comienza, será necesario un esfuerzo de mayor magnitud para conseguir volver a esa situación inicial. En la denominada erosión por cárcavas, el escurrimiento superficial es grande y con elevada energía erosiva, de forma que se concentra dando lugar a surcos o cárcavas que pueden alcanzar decenas de metros, tanto en dimensión longitudinal como altitudinal.

La FAO (1967) describe el crecimiento de las cárcavas como el resultado de la combinación de diferentes procesos, los cuales pueden actuar de manera aislada. Estos procesos comprenden:

- Erosión en el fondo o en los lados de la cárcava por la corriente de agua y materiales abrasivos (fragmentos de roca o partículas de suelo).

- Erosión por el agua de escorrentía que se precipita en la cabecera de la cárcava y que ocasiona la regresión progresiva de ésta.

- Derrumbes en ambos lados de la cárcava por erosión de las aguas de escorrentía.

Las cárcavas inicialmente tienen una sección transversal en forma de “V” pero al presentarse un material más resistente a la erosión o interceptar el nivel freático, se extienden lateralmente, tomando una forma en “U” (figura 16).

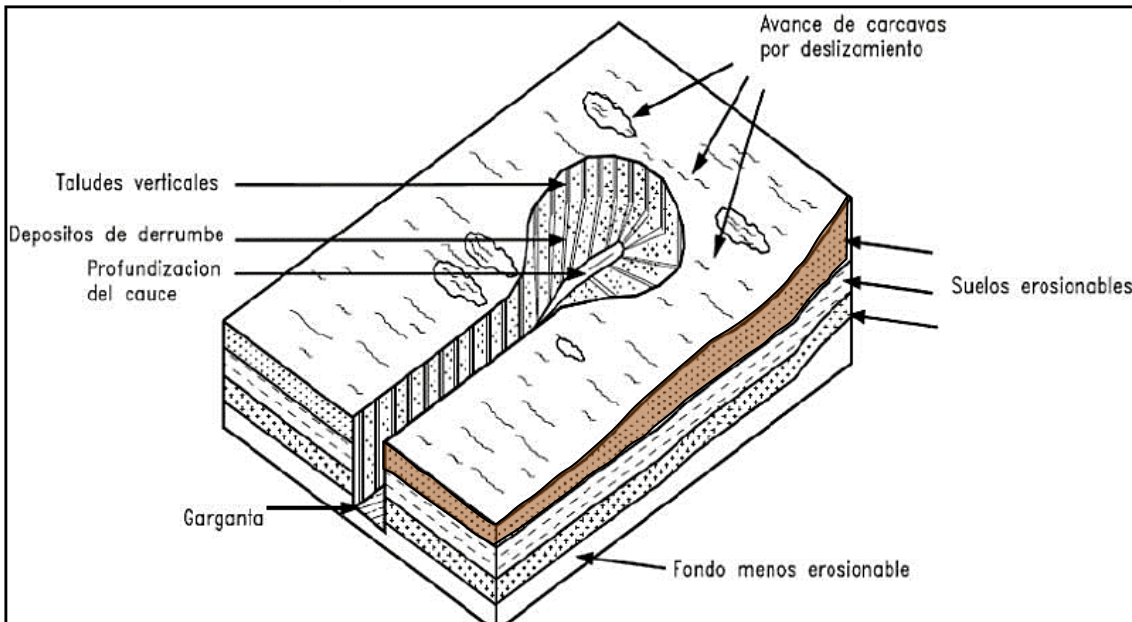


Figura 16: Esquema general de una cárcava. Tomado de Suárez (1998).

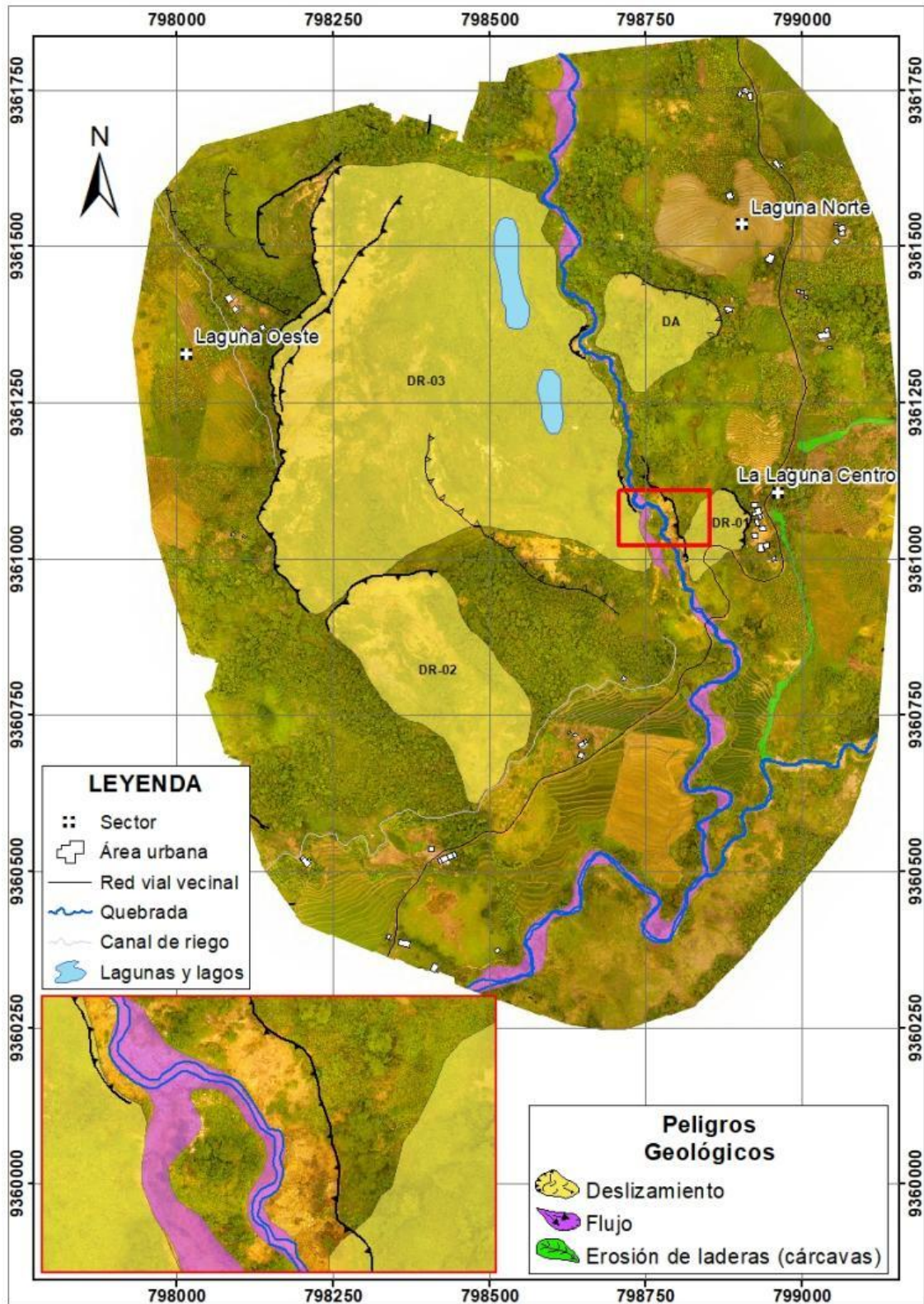


Figura 17. Mapa de Peligros Geológicos de la zona de estudio.

#### 6.4. Movimientos en masa en el caserío La Laguna

A continuación, se describen los procesos de remoción en masa desde el punto de vista geológico y geomorfológico caracterizando la geometría de los deslizamientos, flujos y cárcavas, así como, los factores condicionantes y desencadenantes que intervienen en la ocurrencia de dichos eventos.

#### 6.4.1. Deslizamientos en el caserío La Laguna

Se ha definido un deslizamiento antiguo (DA) y tres recientes o activos (DR), identificados a través de los escarpes, morfometría con cambios de relieves abruptos y materiales de depósitos aluvionales, los cuales fueron comprobados con los antecedentes escritos y testimonios recogidos de mano de los pobladores e imágenes satelitales.

El deslizamiento antiguo (DA) se ubica a la entrada del caserío La Laguna a 360 m al norte de la zona urbana, llega a tener 210 m de longitud y 167 m de ancho. Los desniveles de desplazamiento o saltos de falla del escarpe promedian los 2 m de alto (figura 18).

El deslizamiento reciente (DR-01) de tipo rotacional alcanzó más de 130 m de largo y 100 m de ancho, el escarpe activo tiene 120 m de longitud con 3 m de desnivel con respecto al relieve original, más de 5 vivienda se ubican próximas al escarpe y presenta grietas paralelas que indican el avance retrogresivo del proceso (figura 19).



Figura 18. Vista de oeste a este de deslizamiento antiguo ocurrido al norte del área urbana de La Laguna.



Figura 19. Deslizamiento que afecta a varias viviendas en el caserío La Laguna.

El deslizamiento activo DR-02 se desplaza de noroeste a sureste recorriendo 320 m de longitud y 135 m de ancho, el escarpe principal mide aproximadamente 220 m de largo, este evento de remoción en masa se desarrolló sobre superficies con pendiente entre 15° y 45°, la zona de arranque se ubica en los 660 m s.n.m y se desplaza hasta los 555 m de altitud (figura 20).

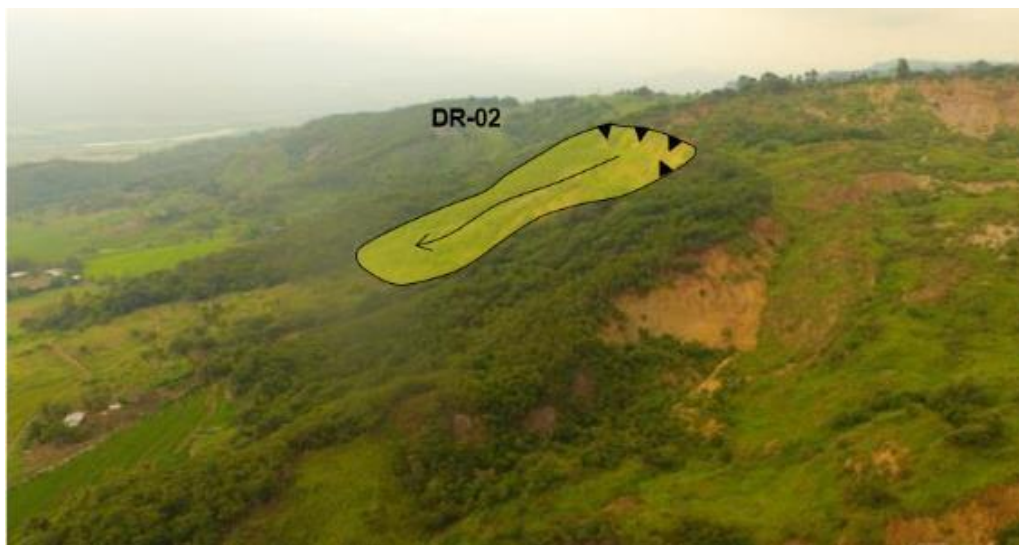


Figura 20. Vista de este a oeste del deslizamiento que afecta principalmente terrenos de cultivo.

El deslizamiento DR-03 es el de mayor magnitud, en cuanto a tamaño, volumen de materiales desplazados y peligrosidad, ya que se desarrolla a escasos metros del sector La Laguna Oeste. El escarpe principal mide 810 m de largo, alcanzó un desplazamiento de 550 m de longitud y 650 m de ancho.

El movimiento provocó que las dos lagunas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento desaparecieran (figura 21).

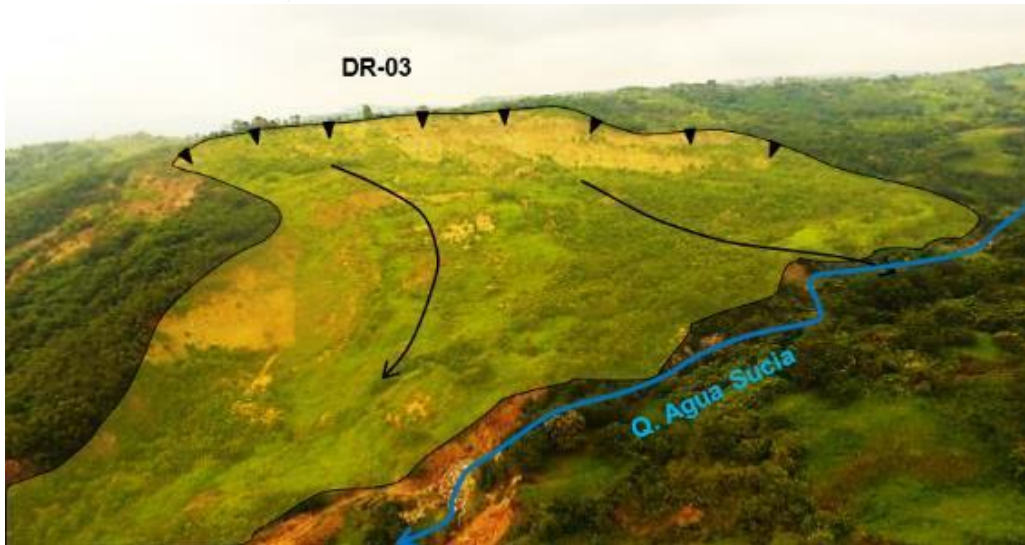


Figura 21. Vista del deslizamiento (DR-03) ubicado al oeste de la zona urbana de La Laguna.

El peligro se incrementa debido al riesgo de represamiento de la quebrada Agua Sucia debido al desplazamiento de los materiales hacia el cauce, lo cual ocurrió en el evento desencadenado por lluvias intensas ocurridas el 26 de febrero del 2019 (figura 22).

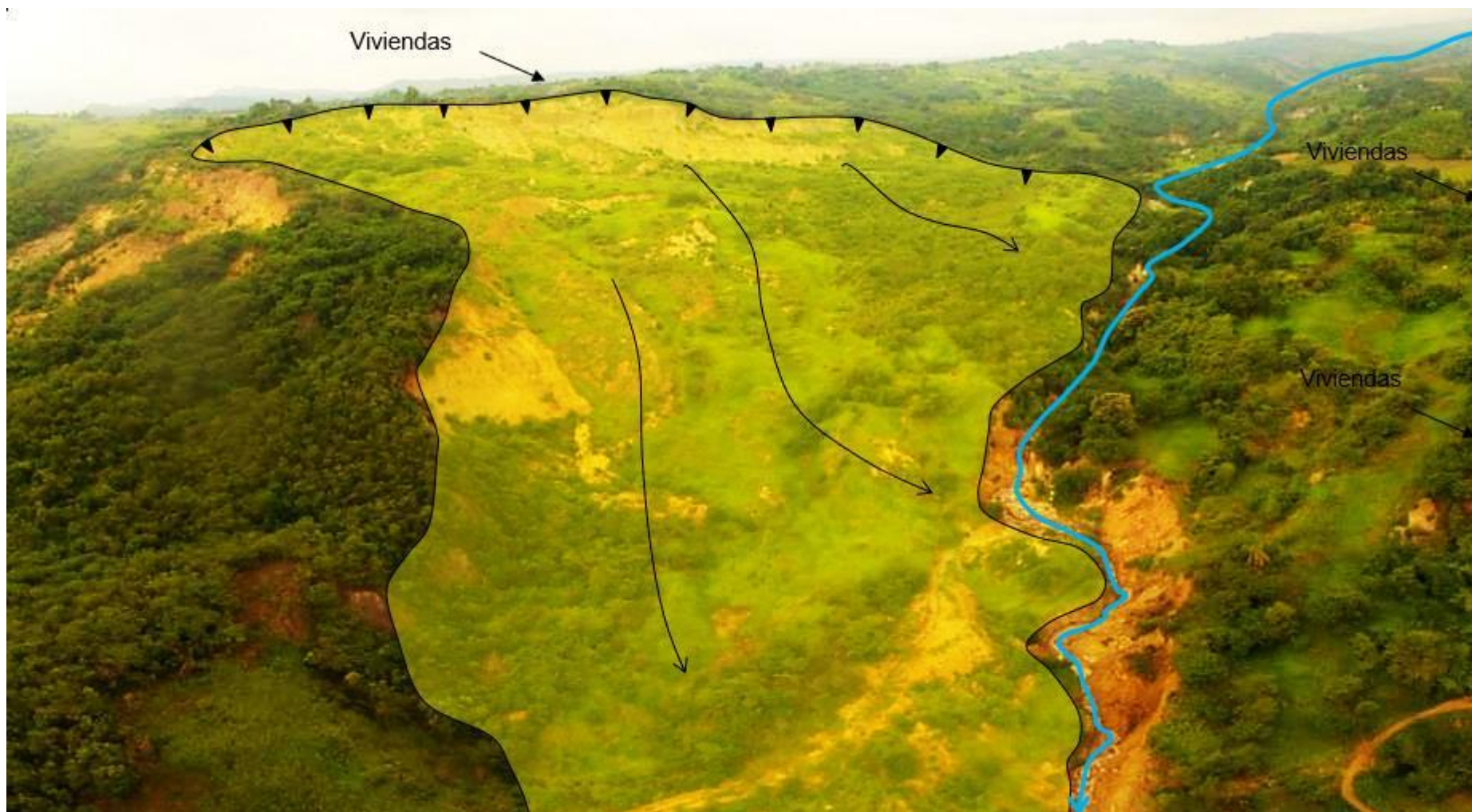


Figura 22. Vista panorámica de sur a norte del deslizamiento y la quebrada de agua sucia y las zonas de represamiento.

Los deslizamientos fueron activados en años anteriores por lluvias intensas ocurridas durante Fenómenos “El Niño”, Niño Costero y recientemente en febrero del 2019; por tanto, la geodinámica en la zona de estudio se considera activa, debido a que los factores condicionantes como la cobertura cuaternaria, tipos de suelos, litología y las geoformas conservan una alta susceptibilidad a procesos de remoción en masa.

El 26 de mayo del 2019 ocurrió un sismo de magnitud 8.0 en el distrito de Lagunas, provincia de Alto Amazonas en la Región Loreto, cuyo epicentro se localiza a 300 km de la zona de estudio. El efecto cosísmico generó derrumbes y deslizamientos en algunos sectores, además de agrietamientos en el suelo que provocaron daños en paredes, vigas y columnas.

Se encontraron grietas paralelas a la corona de los deslizamientos que podrían formar nuevos escarpes activados por lluvias intensas. Las grietas se alinean con escarpes de deslizamientos antiguos que podrían originar un gran deslizamiento que abarque una mayor área; teniendo en cuenta que la mayoría de viviendas están construidas con materiales como el adobe, caña y carrizo, esta condición configura una vulnerabilidad muy alta a proceso de movimiento en masa.

El pie del deslizamiento alcanzó la quebrada Agua Sucia, los materiales conformados por arcillas areno limosas con clastos y bloques de hasta 2 m de diámetro represaron en varios tramos el cauce, los que posteriormente se desplazaron como flujos de detritos que alcanzaron hasta 1 m de altura, afectando principalmente a terrenos de cultivo (figura 23).



Figura 23. Vista de sur a norte del pie del deslizamiento en la quebrada Agua Sucia.

#### **6.4.2. Flujos de lodo y detritos**

La ocurrencia de flujos de lodo en la quebrada Agua Sucia está relacionada a varios factores: la presencia de lluvias intensas que sobrepasan los parámetros normales que se registran en la región, esto provoca una crecida súbita del caudal de los afluentes a la quebrada principal, la erosión y el arrastre en el cauce se incrementa desestabilizando laderas que aportan sedimentos finos y gruesos como arcillas, arenas, clastos, bloques y palizada producto de derrumbes y deslizamientos próximos al flujo de agua inicial.



Evento ocurrido el 26 de febrero del 2019, producto de lluvias intensas registradas por las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. El flujo arrastró bloques angulosos a subredondeados de hasta 2 m de diámetro, el tirante de agua alcanzó hasta 1 m de altura en algunos sectores, ocupó un ancho máximo de 30 m principalmente controlado por la geoforma del cauce principal (figura 24).



Figura 24. Depósitos de clastos y bloques transportados por el flujo o huaico, vista hacia aguas arriba de la quebrada.

El paso del flujo causó daños principalmente a terrenos de cultivo de arroz ubicados en la parte baja de la quebrada Agua Sucia; además desestabilizó las paredes del cauce debido al ancho del mismo que en algunos sectores llega a reducirse hasta 5 m lo que puede causar derrumbes y nuevos deslizamientos que pueden represar la quebrada ante lluvias o sismo de regular intensidad (figuras 25 y 26).



Figura 25. Vista del cauce y altura del flujo ocurrido en la quebrada Agua Sucia.



Figura 26. Cauce angosto de hasta 5 m de ancho de la quebrada Agua Sucia.

#### **6.4.3. Erosión de laderas (Cárcavas)**

Las cárcavas identificadas se localizan próximas a la zona urbana de La Laguna, alcanzan hasta 3 m de profundidad y 13 m de ancho, las cuales se originan por la falta de estructuras de drenaje en las vías principales como la carretera afirmada que se encuentra en mal estado debido a la erosión que provoca la escorrentía superficial al avanzar el agua en superficial entra en contacto con suelo blanco y muy erosionable como las áreas de cultivo (figura 27).



Figura 27. Vista de sur a norte de la zona de erosión en las laderas en zonas de cultivo de arroz.

### **7. SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA**

El INGGEMMET a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), elaboro en el año 2009 el “Mapa de Susceptibilidad por Movimientos en Masa del Perú” escala 1:1 000 000. El mapa tiene como objetivos plantear un modelo que indique las zonas de mayor exposición a proceso de remoción en masa, a fin de contar

con una herramienta dinámica para la gestión de riesgos; priorizar escenarios donde se desarrollen estudios específicos, así como plantear las medidas de prevención o mitigación para asegurar la estabilidad física de zonas urbanas y/o infraestructuras vulnerables. El logro de estos objetivos tiene como paso previo, el inventario y/o cartografiado a nivel nacional de movimientos en masa.

El modelo de susceptibilidad, utilizó un modelo heurístico multivariado, que implica el análisis cruzado de mapas y geoprocésamiento. Para la validación del modelo se utilizó el Inventario de Peligros Geológicos nacional, resultando que el 86% de movimientos en masa inventariados, se concentran en las categorías de alta a muy alta susceptibilidad.

Debido a la ocurrencia del Niño Costero 2017, el INGEMMET puso a disposición la plataforma virtual “Perú en Alerta”, en donde se puede observar e identificar un punto específico en el territorio expuesto a peligros geológicos como zonas susceptibles a ocurrencia de deslizamientos, caída de rocas, flujos, inundaciones, entre otros.

La zona de estudio presenta una susceptibilidad media a alta ante la ocurrencia de movimientos en masa y abarca desde el caserío La Laguna hasta el centro poblado Puerto Naranjitos (figura 13).

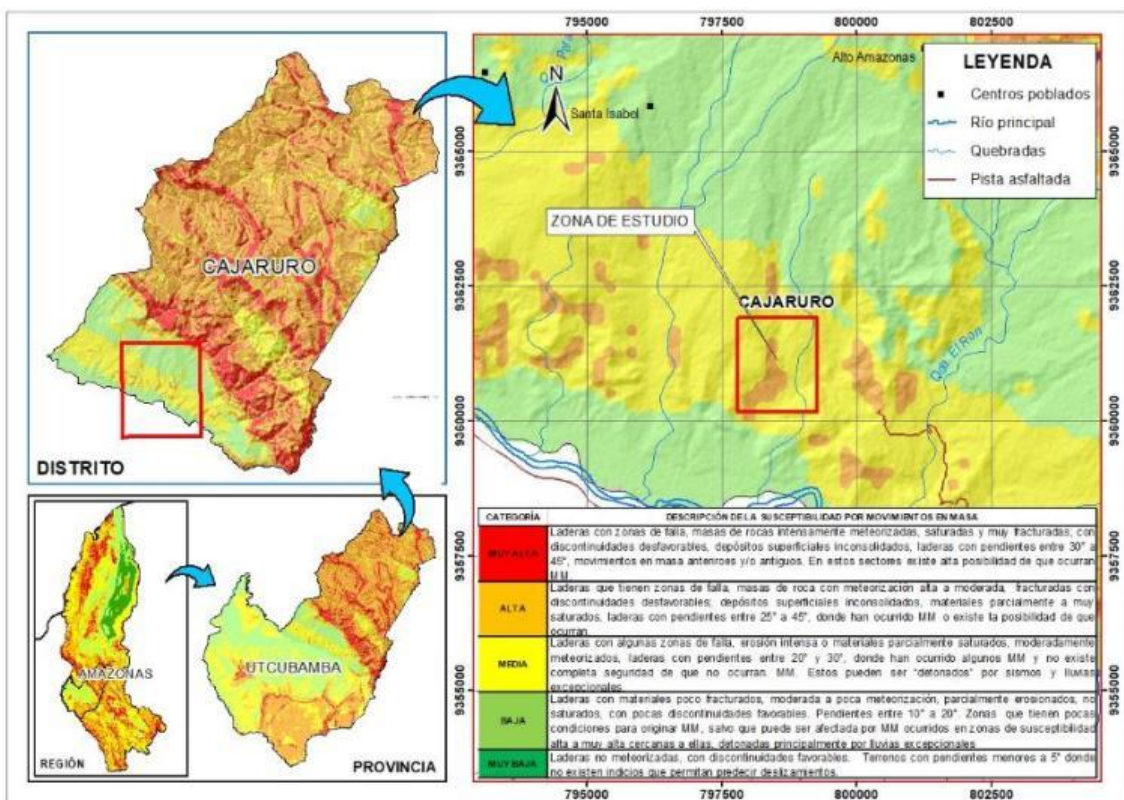


Figura 13. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la zona de evaluación.

## 8. MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS

Los factores que influyen en la inestabilidad de laderas y posterior ocurrencia de movimientos en masa; están relacionados a los tipos de materiales y sedimentos que constituyen la cobertura reciente de la superficie, la pendiente y las geoformas del relieve constituyen los factores condicionantes. Mientras que, las precipitaciones pluviales son consideradas el principal factor desencadenante de los procesos de remoción en masa; además de, los eventos sísmicos tectónicos y por fallas geológicas como el sismo de Loreto del 2019.

A continuación, se determinan y describen los factores que intervinieron en la ocurrencia de los deslizamientos, flujos y procesos de erosión en la zona de estudio:

### 8.1. Factores condicionantes

#### 8.1.1. Litología y Depósitos Cuaternarios

Los tipos de rocas predominantes en la zona de estudio están conformados por lutitas, limoarcillitas, limolitas tobáceas y areniscas con niveles de margas, este tipo de litología constituye secuencias poco compactas, muy erosionable, que en contacto con agua pierden cohesión y estabilidad. La cobertura cuaternaria, hasta los primeros metros está conformada por arcillas arenosas con gravillas, gravas y clastos dispersos configurando un medio poroso por donde se infiltra el agua de escorrentía proveniente de lluvias, canales, acequias no impermeabilizadas y riego no tecnificado (figura 28).



Figura 28 (a). Limoarcillitas, limolitas, areniscas y margas con humedad media a alta. (b) Materiales arcillosos que constituyen los primeros metros de suelos de cimentación.

#### 8.1.2. Pendientes

El área de estudio comprende un total de 156 has, de las cuales el 75% presenta pendientes muy escarpadas a moderadas (116 has), mientras que, el 15% (40has) corresponde a pendientes suavemente inclinadas a llanas o planas (figura 29).

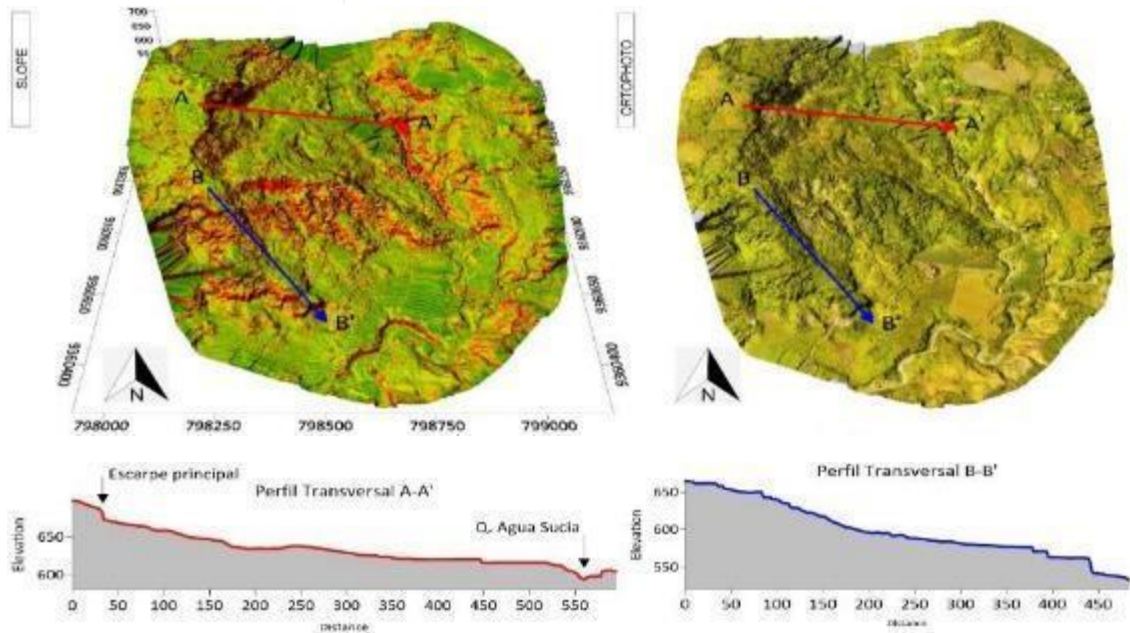


Figura 29. Mapa de pendientes y perfiles transversales de las zonas de deslizamientos y laderas inestables con pendientes fuertes a escarpadas.

Los movimientos en masa producen importantes transformaciones geomorfológicas las que a su vez pueden condicionar la ocurrencia de nuevos procesos de movimientos en masa como se observa en el perfil A-A'.

## 8.2. Factor desencadenante

### 8.2.1. Precipitaciones pluviales

Se ha recopilado la información de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Los deslizamientos ocurrieron el 26 de febrero del 2019, las estaciones próximas al caserío La Laguna se ubican en las ciudades de Bagua Grande y Puerto Naranjitos (cuadro 02 y figuras 30 y 31).

| Estación: NARANJOS   |                            |            |                |           |              |
|----------------------|----------------------------|------------|----------------|-----------|--------------|
| Departamento:        | AMAZONAS                   | Provincia: | UTCUBAMBA      | Distrito: | BAGUA GRANDE |
| Latitud:             | 5°45'20.46" S              | Longitud:  | 78°25'53.55" W | Altitud:  | 427 msnm.    |
| Tipo:                | Convencional - Hidrológica |            |                | Código:   | 221501       |
| Estación: NARANJITOS |                            |            |                |           |              |
| Departamento:        | AMAZONAS                   | Provincia: | UTCUBAMBA      | Distrito: | JAMALCA      |
| Latitud:             | 5°49'10.85" S              | Longitud:  | 78°16'33.54" W | Altitud:  | 500 msnm.    |
| Tipo:                | Convencional - Hidrológica |            |                | Código:   | 220907       |

| AÑO                          | 2019    |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
|------------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|                              | FEBRERO |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
| MES                          |         |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
| DÍA                          | 1       | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8    | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19   | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25   | 26  | 27  | 28  |
| Precipitación Total (mm/día) | 0.1     | 0.3 | 6.6 | 7.2 | 2.4 | 1.5 | 4.7 | 11.3 | 9.1 | 0.0 | 0.4 | 7.2 | 0.0 | 0.0 | 5.6 | 0.0 | 0.0 | 2.7 | 18.0 | 5.4 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 1.2 | 19.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Cuadro 02. Datos de precipitaciones pluviales durante los procesos de remoción en masa registrados en la zona de estudio.

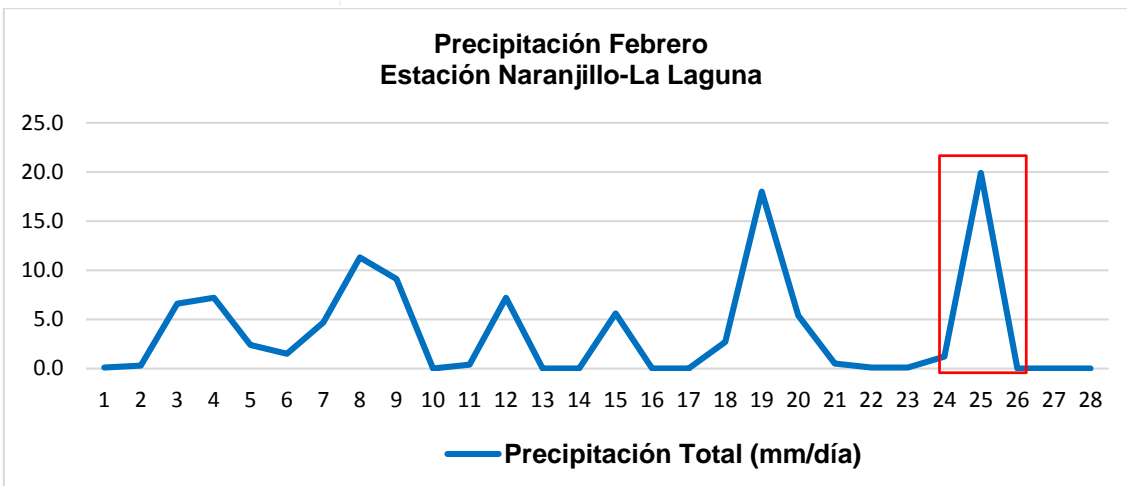


Figura 30. Precipitaciones registradas durante el mes de febrero.

Fuente: SENAMHI / DRD

\* Datos sin control de calidad.

Para el periodo mencionado, la estación más cercana se ubica a 5.9 km (Puerto Naranjitos), el 25 de febrero un día antes de los deslizamientos se registraron lluvias que alcanzaron los **19.9 mm/día** (Cuadro 02 y figura 31).

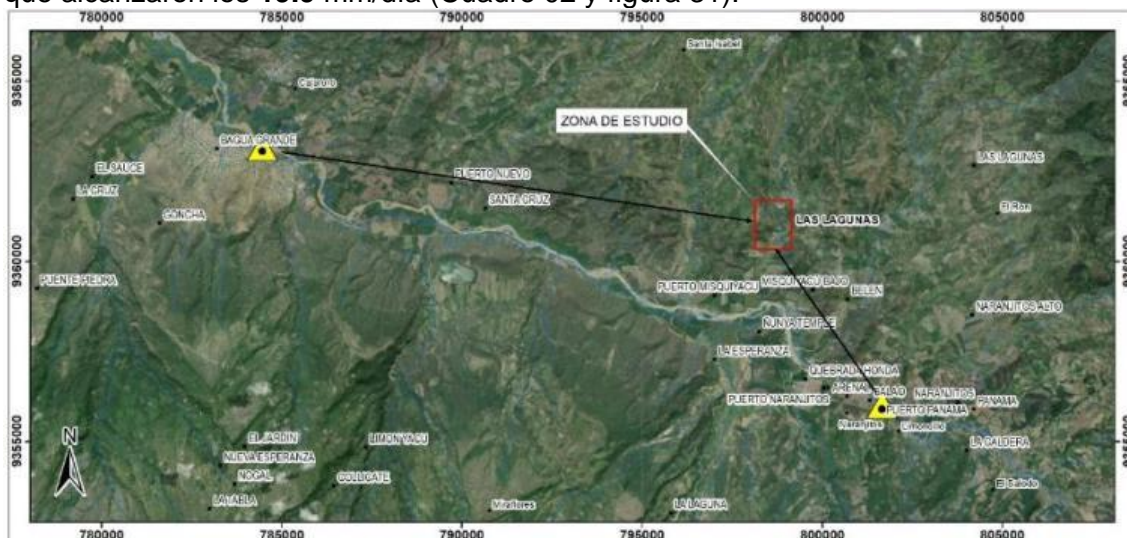


Figura 31. Ubicación de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio.

### 8.2.2. Sismo de Loreto 2019

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

La estación ubicada en el Colegio de Ingenieros de Amazonas registró aceleraciones máximas del terreno (PGA) de 95, 87 y 53 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.

| N° | INTITUCIÓN               | ESTACIÓN        | UBICACIÓN                          | DISTANCIA EPICENTRAL (KM) | LUGAR DE ASIENTO                | ACELERACIONES MÁXIMAS CON FILTRADO (cm/seg <sup>2</sup> ) |        |       | ACELERACIÓN MÁXIMA CM/SEG <sup>2</sup> | ACELERACIÓN (g) |
|----|--------------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---|--------|-------|--|-----------------|
|    |                          |                 |                                    |                           |                                 | PGA FO  | PGA NS | PGA V |  |                 |
| 1  | POSGRADO FIC UNI / UNTRM | UNTRM           | AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS | 292                       | ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD | 95.84   | 87.45  | 53.49 | 95.84                                  | 0.096           |
| 2  | CIP                      | CIP MOYOBAMBA   | SAN MARTIN, MOYOBAMBA, MOYOBAMBA   | 192                       | ARCILLA                         | 91.29   | 78.76  | 90.16 | 91.29                                  | 0.093           |
| 3  | CIP                      | CIP TARAPOTO    | SAN MARTIN, SAN MARTIN, TARAPOTO   | 153                       | ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD | 58.18   | 79.56  | 67.86 | 79.56                                  | 0.081           |
| 4  | CIP                      | CIP AMAZONAS    | AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS | 294                       | ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD | 78.91   | 53.98  | 53.05 | 78.91                                  | 0.08            |
| 5  | POSGRADO FIC UNI         | PACASMAYO       | LA LIBERTAD, PACASMAYO, PACASMAYO  | 529                       | GRAVA ARENOSA                   | 38.07   | 25.02  | 17.99 | 38.07                                  | 0.039           |
| 6  | POSGRADO FIC UNI         | UNI             | CAJAMARCA, JAEN, JAEN              | 391                       | GRAVA MAL GRADADA               | 29.24   | 32.60  | 19.23 | 32.60                                  | 0.033           |
| 7  | POSGRADO FIC UNI         | UNC             | CAJAMARCA, CAJAMARCA, CAJAMARCA    | 391                       | LIMO ARCILLOSO                  | 25.26   | 22.63  | 17.09 | 25.26                                  | 0.025           |
| 8  | CIP                      | CIP LA LIBERTAD | LA LIBERTAD, TRUJILLO, TRUJILLO    | 494                       | ARENA CON GRAVILLA              | 20.60   | 19.93  | 17.43 | 20.60                                  | 0.021           |
| 9  | CIP                      | CIP CAJAMARCA   | CAJAMARCA, CAJAMARCA, CAJAMARCA    | 393                       | GRAVA ARCILLOSA                 | 17.27   | 17.63  | 9.44  | 17.63                                  | 0.018           |
| 10 | CIP / UPAO               | UPAO            | LA LIBERTAD, TRUJILLO, TRUJILLO    | 495                       | ARENA ARCILLOSA                 | 16.71   | 17.62  | 13.63 | 17.62                                  | 0.018           |

Cuadro 03. Máximas aceleraciones registradas (Cismid, 2019)

Las intensidades sísmicas estimadas por Servicio Geológico de Estados Unidos USGS llegaron a 5 y 6 MMI para la zona de estudio (figura 32).

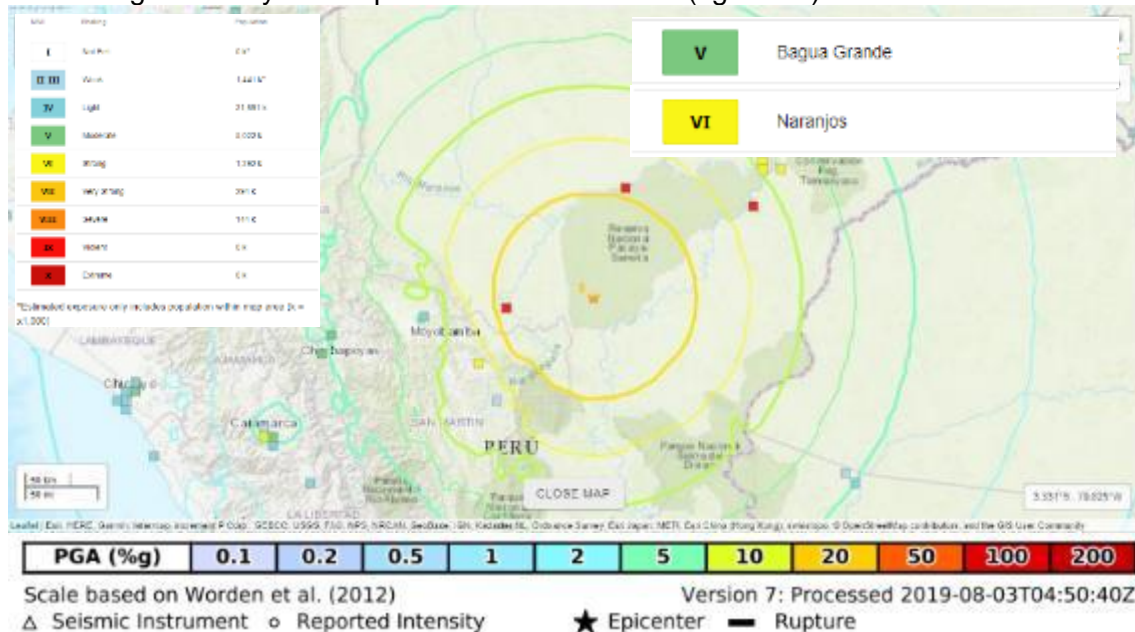


Figura 32. Intensidades sísmicas estimadas (USGS, 2019).

## 9. PROPUESTAS DE MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN

A continuación, se describen algunas propuestas generales para mitigar las zonas afectadas, estas medidas estructurales tienen el objetivo de minimizar los daños frente a la ocurrencia de eventos geodinámicos y deberán estar sustentadas en estudios de ingeniería definitiva tales como la caracterización geológica, geofísica y geotécnica de las estructuras a cimentar.

### 9.1. Medidas estructurales para captación de flujos de escorrentía

#### 9.1.1. 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 33).

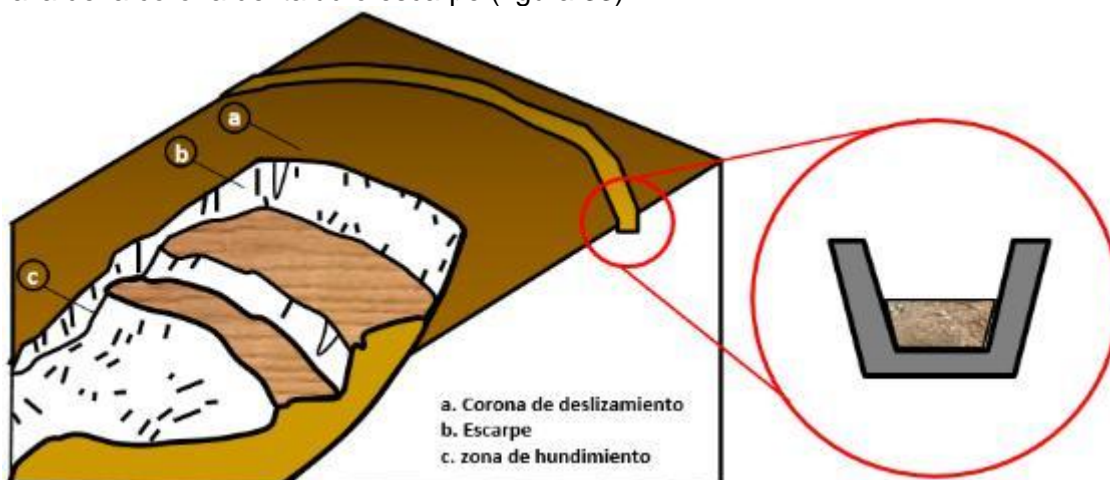


Figura 33. Esquema de zanjas de coronación o drenaje de deslizamiento.

### 9.1.2. Sistemas de drenaje espina de pescado

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 34).

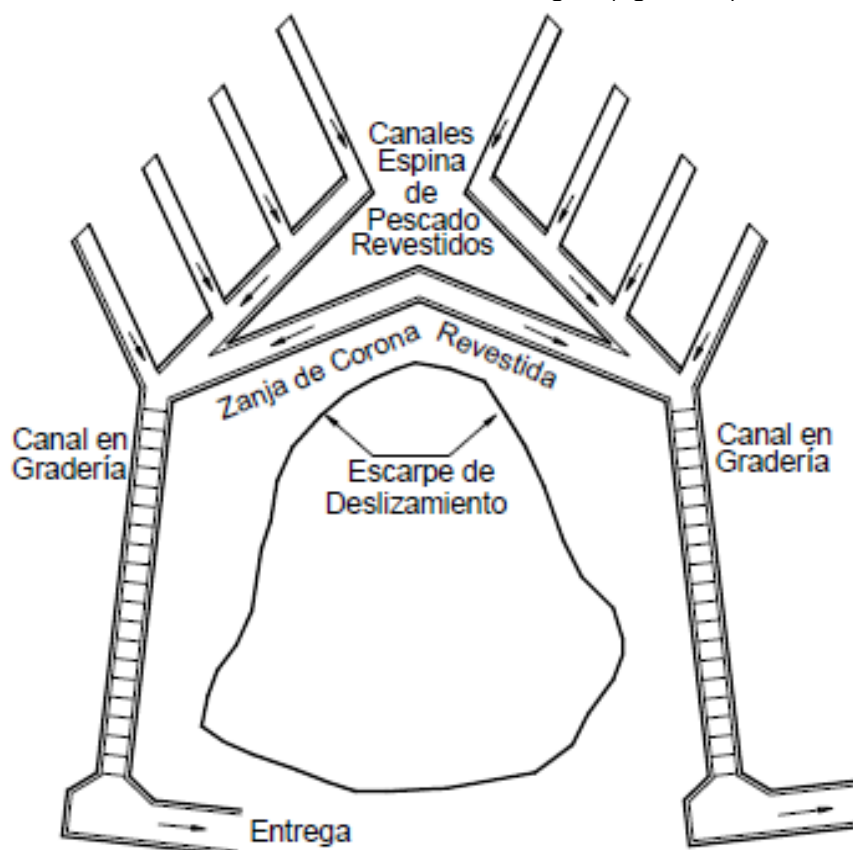


Figura 34. Esquema en planta de canales colectores Espina de Pescado (Suarez, 2010).

### 9.2. Medidas estructurales para control de cárcavas

Las cárcavas son el resultado de la erosión superficial, precedida por la erosión en forma de salpicadura, laminar y en surcos; al aumentar el volumen de escorrentía o



su velocidad. En muchos casos estas formas de erosión alcanzan estados de gran avance y desarrollo, de difícil control posterior.

Considerando las condiciones geomorfológicas-geológicas y los peligros geológicos evaluados se debe llevar un manejo adecuado de conservación de suelos cuyos 3 principios fundamentales son:

- Reducir la velocidad de la escorrentía que define la energía con la cual se transportan y emplazan los materiales.
- Favorecer la infiltración del agua.
- Crear cobertura vegetal.

Las medidas de prevención y mitigación, son las siguientes:

- Mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales de la zona urbana de La Laguna, evacuando sus aguas hacia otras quebradas.

- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo de la cárcava y en las zonas circundantes a ella (figura 35), y de esta manera asegurar su estabilidad, así como la disipación de la energía de las corrientes concentradas en los lechos de las cárcavas.

- Promover el desarrollo de programas de control y manejo de cárcavas sobre la base de diques o trinchos transversales construidos con materiales propios de la región como troncos, ramas, etc. (figuras 36, 37 y 38).

- Manejo agrícola: evitar riegos en exceso, estos deben ser cortos y frecuentes, de modo que limiten la infiltración y la retención en la capa superficial del suelo en contacto con los cultivos. Lo recomendable es evitar todo tipo de cultivo en las laderas.

- En las partes altas se debe favorecer el cultivo de plantas que requieran poca agua y proporcionen una buena cobertura del terreno para evitar el impacto directo de la lluvia sobre el terreno.

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

- Realizar un monitoreo diario del movimiento de los deslizamientos y ocurrencia de derrumbes, con el fin de estar prevenidos.

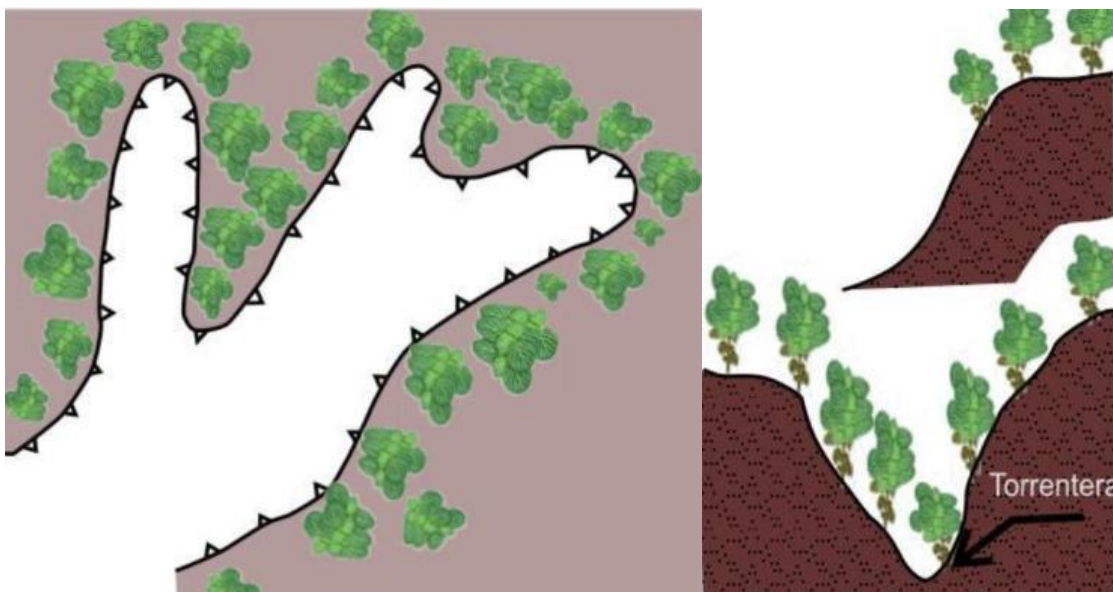


Figura 35. Vista en planta y perfil de los procesos de forestación en cabeceras y márgenes de las áreas inestables.

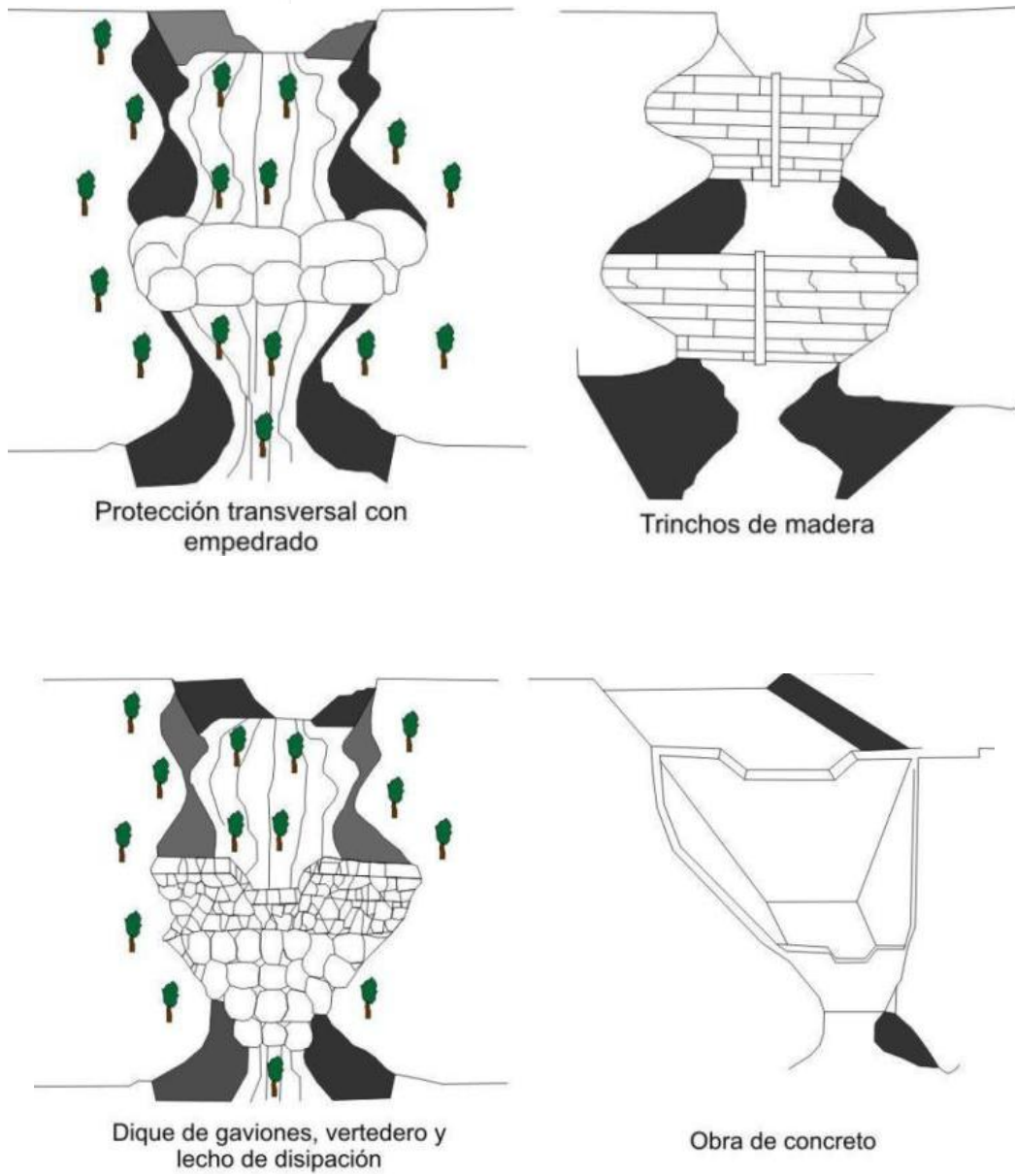


Figura 36. Obras hidráulicas transversales para el control de erosión en cárcavas.

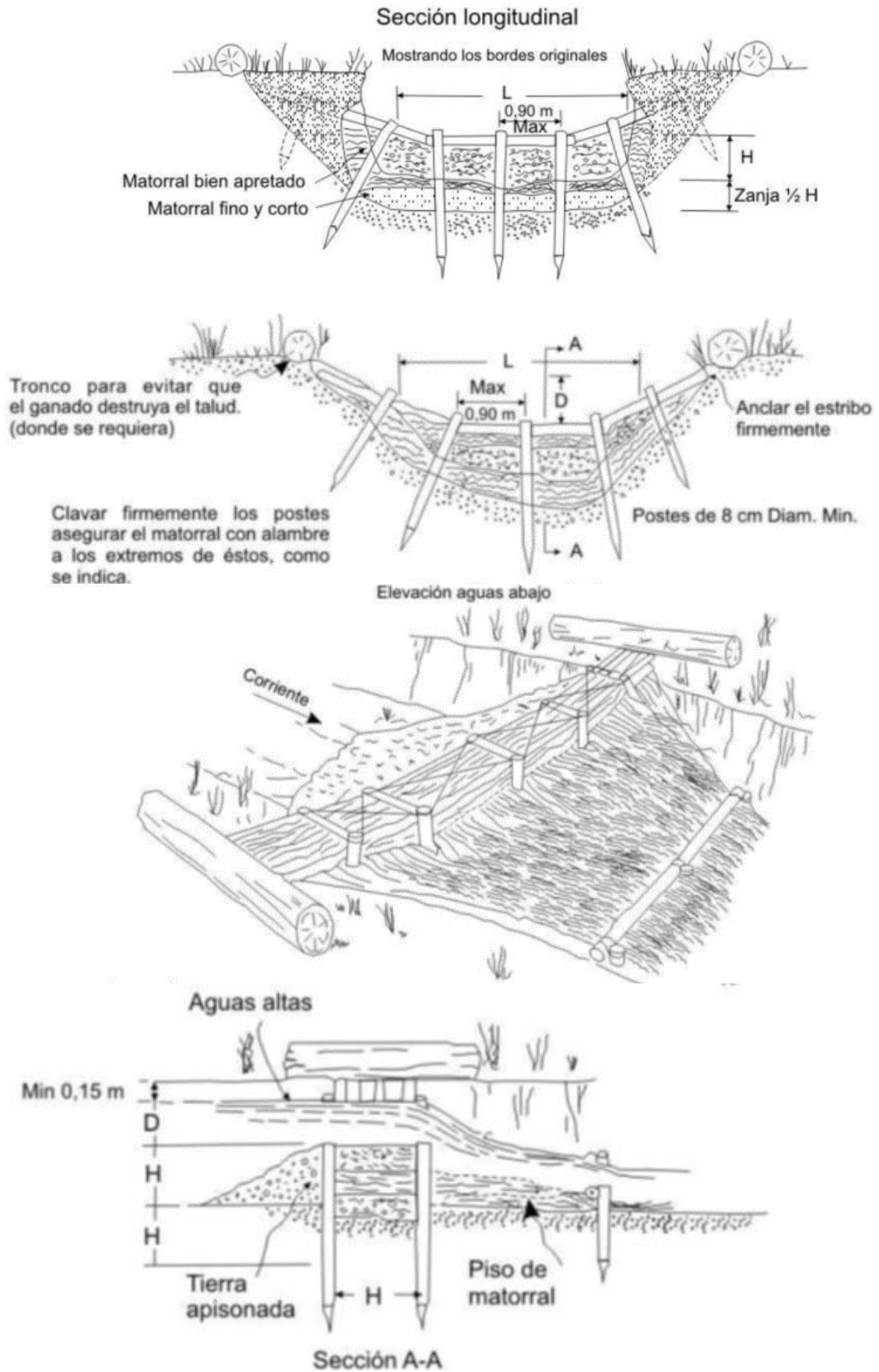


Figura 37. Presa de matorral tipo doble hilera de postes

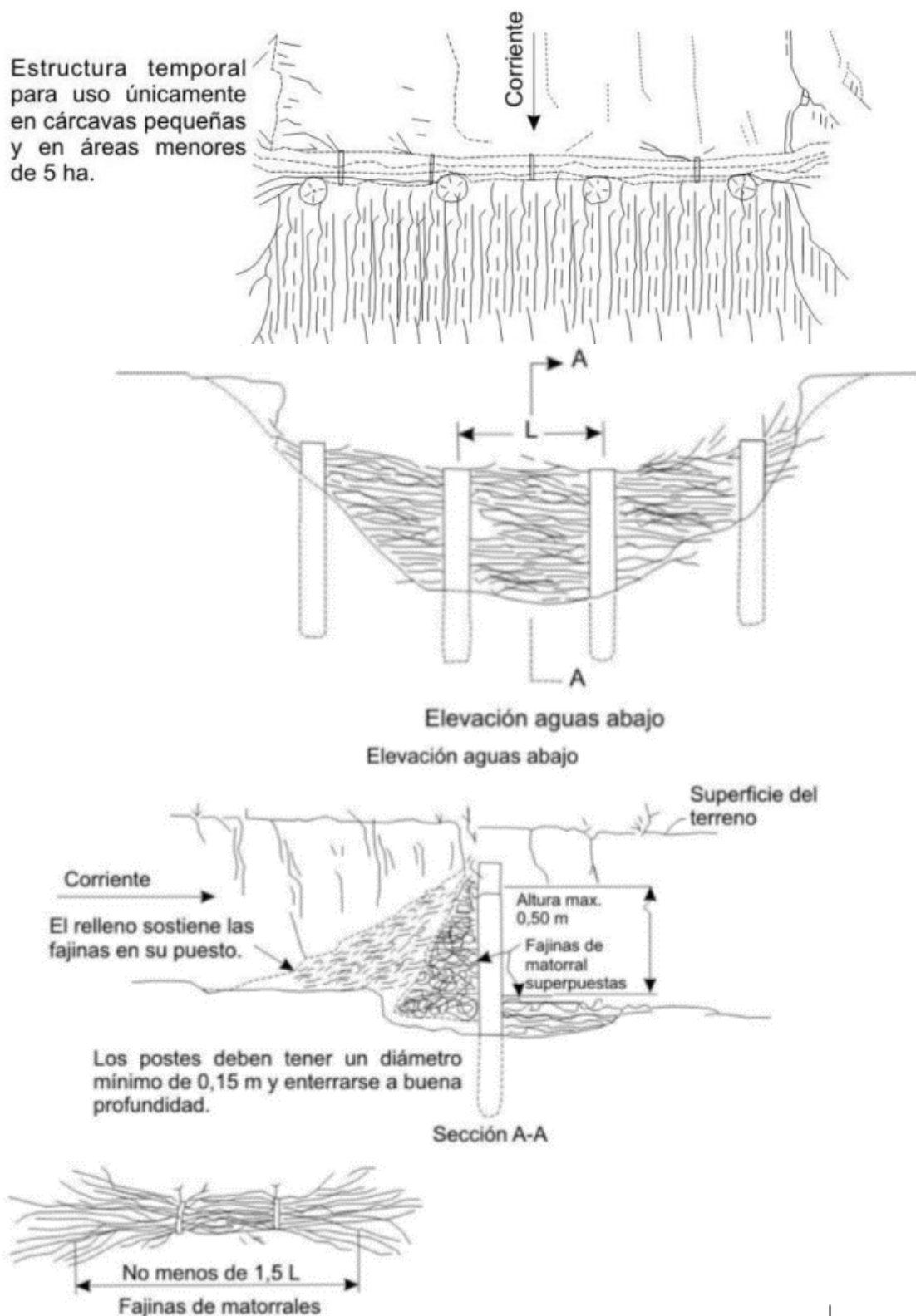


Figura 38. Presas de matorral tipo una hilera de postes (adaptado de Valderrama et al., 1964)

## CONCLUSIONES

- a) El área urbana del caserío La Laguna se asienta sobre colinas y lomadas ubicadas al este y oeste, las laderas presentan pendientes suavemente inclinadas a fuertes ( $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$ ), limitando con el piedemonte aluvial conformado por abanicos aluviales con pendientes menores a  $15^{\circ}$ . El cauce o lecho de la quebrada Agua Sucia se desplazada de norte a sur hasta la confluencia de la quebrada El Ron, ambas quebradas han modelado las geofomas de la zona de estudio.
- b) La litología predominante está constituida básicamente por secuencias arcillosas y arenosas de lutitas, limoarcillitas, limolitas tobáceas y areniscas con margas; consideras como de mala calidad, porque estas rocas en contacto con el agua tienen un comportamiento geotécnico desfavorable, además se encuentran muy fracturadas y meteorizadas. Así también mencionar que los depósitos cuaternarios en sus primeros metros, están constituidos por materiales y sedimentos de arcillas arenosas, gravillas y gravas, que constituyen un medio poroso por donde el agua se infiltra a las capas inferiores haciéndolas fallar.
- a) La geodinámica en la zona de estudio, está definida por procesos de movimientos en masa como **DESLIZAMIENTOS RETROGRESIVOS EN ESTADO ACTIVO**. Los escarpes alcanzan en promedio más de 300 m de longitud, mientras que, los cuerpos de los deslizamientos superan los 250 m de largo y 150 m de ancho, los saltos de falla presentan desniveles de 1 a 15 m de alto.
- b) Las precipitaciones registradas durante el año 2019 alcanzaron un pico máximo el 25 de febrero con **19.9 mm**, siendo el factor desencadenante para la reactivación de un deslizamiento de mayor magnitud, que se registró el día 26 de febrero; mostrando así una relación entre remoción de masas y acción de las lluvias.
- c) La escorrentía superficial sobresa los sedimentos de las laderas, que se fuga de los canales y acequias no revestidas, generando una infiltración del agua al subsuelo provocando la inestabilidad.
- d) Los materiales deslizados y depositados en el cauce de la quebrada Agua Sucia, aportaron sedimentos a los flujos provenientes de la parte alta, originando flujos de lodos y detritos. Cabe mencionar que, la erosión en cárcavas se desarrolla en terrenos de cultivos, además, existen procesos de erosión avanzados al borde de la trocha carrozable, al avanzar afectarían la zona urbana.
- e) Tomando en cuenta los factores condicionantes actuales, tales como geología y geomorfología, se determina que el caserío La Laguna tiene un **“Peligro Muy Alto por Movimientos en Masa**, donde existe la probabilidad de ocurrencia de nuevos procesos de movimientos en masa, que podrían reactivarse con lluvias extraordinarias.
- f) En el terreno se observan grietas longitudinales que indica el avance retrogresivo de los deslizamientos hacia la zona urbana.

## RECOMENDACIONES

- a) Para la posible reactivación del deslizamiento DR-3 como medida preventiva se debe evacuar las 04 viviendas próximas al deslizamiento de la margen derecha de la quebrada Agua Sucia. Al igual para las viviendas ubicadas cerca el escarpe principal del deslizamiento DR-01, en Laguna Centro.
- b) No permitir la construcción de nuevas viviendas próximas a los escarpes de los deslizamientos La Laguna Oeste y Centro, como también en la zona de erosión en cárcavas.
- c) Mejorar el sistema de drenaje de aguas pluviales del centro poblado, con el objetivo de evacuar las aguas superficiales hacia las quebradas más próximas.
- d) Implementar y construir las medidas de mitigación estructural como: zanjas de coronación, drenajes dendríticos, barreras y canales para el adecuado manejo de la escorrentía superficial, con el objetivo de conducir adecuadamente el agua proveniente de la parte alta de la ladera, impermeabilizar el mayor porcentaje de superficie y evitar la pérdida de suelo.
- e) Construir cunetas a lo largo de la vía principal, con la finalidad de evitar que el agua de escorrentía descienda rápidamente, evitarla erosión en la superficie.
- f) Realizar el seguimiento, mantenimiento y control de erosión de laderas, manteniendo la vigilancia permanente al conjunto de obras dispuestas para el control de la erosión, con el objetivo de prolongar la vida útil y determinar la funcionalidad de las medidas adoptadas.
- g) Se deben rellenar e impermeabilizar las cárcavas adyacentes a la zona urbana, con el objetivo de evitar la infiltración del agua al subsuelo y la erosión de ladera.
- h) Sensibilizar a la población a fin de evitar asentamientos cerca de los deslizamientos, flujos y cárcavas.

  
LUIS MIGUEL LEON ORDA  
Ingeniero Geólogo  
Reg. CIP. N° 215610

  
Ing. CARLOS L. BENAVENTE ESCOBAR  
Director (e)  
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico  
INGEMMET

## REFERENCIAS

- Chacaltana, C; Valdivia, W; Peña, D. & Rodríguez, R. (2011). Geología de los cuadrángulos de Aramango (11-g) y Bagua (12-g). INGEMMET. Boletín, Serie A: Carta Geológica Nacional, 142, 125 p., 8 mapas.
- 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.
- FAO (1967). La Erosión del suelo por el agua. Cuaderno de fomento agropecuario. N° 81 Roma. 207 p.
- Fidel, L., Zavala, B., Núñez, S. y Valenzuela, G. (2006). Estudio de Riesgos Geológicos del Perú – Franja N° 4. INGEMMET, Serie C: Geología e Ingeniería Geológica, Boletín N° 31, Lima.
- Gómez, H. & Pari, W. (2020) - Peligro geológico en la región Puno. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 77, 236 p., 9 mapas.
- Medina, A. & Dueñas, B. (2007) – Informe de zonas críticas de la Región Amazonas.
- Medina, L.; Vílchez, M.; Dueñas, SH. (2009). Riesgo geológico en la Región Amazonas. INGEMMET. Boletín. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, n. 39, 205 p.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas. (2007) - Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, No. 4, 432 p., 1 CD-ROM.
- Sánchez, A. (1995). Geología de los cuadrángulos de Bagua Grande, Jumbilla, Lonya Grande, Chachapoyas, Rioja, Leimebamba, y Bolívar. Boletín del INGEMMET, Serie A: Carta Geológica Nacional, v. 56, 287 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 Board Special Report 176.

- Villacorta, S.; Fidel, L. & Zavala, B. (2012) - Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 69(3), 393–399.
- 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.