

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7155

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA URBANA DE PACAIPAMPA

Región Piura
Provincia Ayabaca
Distrito Pacaipampa



MAYO
2021

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA URBANA DE PACAIPAMPA, DISTRITO DE PACAIPAMPA, PROVINCIA DE AYABACA, REGIÓN PIURA



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

Equipo de investigación:

Cristhian Chiroque Herrera

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2020). *Evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en el área urbana de Pacaipampa*. Distrito de Pacaipampa, provincia de Ayabaca, región Piura. Lima: INGEMMET, Informe Técnico A7155, 48p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos del estudio	3
1.2. Antecedentes y trabajos anteriores	3
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Accesibilidad	6
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	6
2.1. Unidades litoestratigráficas	7
2.1.1. Grupo Salas (ks-bm)	7
2.1.2. Granito Paltashaco (kt-gr-p)	7
2.1.3. Depósitos cuaternarios	8
3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	8
3.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	9
3.2. Pendientes del terreno	9
3.3. Unidades geomorfológicas	10
3.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional	10
3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	11
4. PELIGROS GEOLÓGICOS	15
4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa	15
4.1.1. Deslizamientos en el sector El Altillo	16
4.1.2. Erosión de laderas en el AA.HH. Sagrado Corazón	20
4.1.3. Deslizamientos en el sector Villa Deportiva	22
4.1.4. Caída de rocas en el sector Villa Deportiva	24
4.1.5. Deslizamientos en el AA.HH. Ramón Castilla	25
4.1.6. Flujos de detritos en la quebrada Pacay Pampa	26
4.2. Factores condicionantes	28
4.2.1. Litología	28
4.2.2. Pendientes	30
4.3. Factores antrópicos	31

4.4. Factores desencadenantes	32
4.4.1. Lluvias intensas durante el Niño Costero	32
4.5. Daños por peligros geológicos	33
4.5.1. Sector El Altillo	34
4.5.2. AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús	34
4.5.3. Sector Villa Deportiva	35
4.5.4. AA.HH. Ramón Castilla	35
5. CONCLUSIONES	37
6. RECOMENDACIONES	39
7. BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXO 1: MAPAS Y PERFILES	43
ANEXO 2: GLOSARIO	45
ANEXO 3: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	48

RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en el área urbana del distrito de Pacaipampa: sectores Sagrado Corazón, Villa Deportiva, Ramón Castilla y El Altillo. Pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad Distrital del mismo nombre, provincia de Ayabaca y región Piura. Con este trabajo, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica de calidad e información actualizada, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

En la zona evaluada, afloran rocas de la Formación La Bocana compuesta por calizas y margas muy fracturadas, intensamente meteorizadas, deleznable y con presencia de humedad. Además, se observan andesitas fracturadas y meteorizadas de la Formación San Lorenzo de donde se originan bloques y clastos que se depositaron al piedemonte. Los depósitos cuaternarios de tipo aluvial, conformado por clastos y gravas angulosas en matriz de limo – arenosa cubren el macizo por sectores; además, son susceptibles a la ocurrencia de deslizamientos, reptación y cárcavas principalmente.

El área urbana de Pacaipampa, se encuentra asentada sobre la subunidad de piedemonte aluvial, originada por la acumulación de depósitos de avalanchas de rocas, flujos de detritos y lodos que modelaron el relieve con pendientes moderadas. Hacia el sur y norte, se encuentran montañas modeladas en rocas ígneas y metamórficas respectivamente, estas geoformas, constituyen los relieves más altos del área de evaluación. Asimismo, los cauces de las quebradas Portachuelo y Pacaipampa, son el resultado de la erosión e incisión de cursos de agua superficial por donde descienden flujos que se activan en temporada de lluvias.

El área urbana de Pacaipampa es afectada por flujos de detritos que se canalizan por las quebradas Paltashaco y Pacay Pampa, alcanzan alturas menores a 1 m y se activan en temporada de lluvias, los flujos erosionan laderas de montañas y ambos márgenes de las quebradas donde se ubican viviendas. Sin embargo, los deslizamientos ubicados en el sector El Altillo y el AA.HH. Sagrado Corazón pueden afectar las viviendas ubicadas en el centro de la ciudad.

El sector El Altillo es afectado por deslizamientos antiguos y recientes, cuya última reactivación en marzo del 2017 afectó varias viviendas ubicadas en la calle La Unión, el tipo de roca y la fuerte pendiente condicionan la formación de cárcavas y de deslizamientos.

El AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús es afectado principalmente por cárcavas originadas por el tipo de roca de baja resistencia a la erosión y coberturas aluviales poco compactas, las cárcavas afectan viviendas, calles y conexiones de agua potable. Además, existen deslizamientos antiguos que se desarrollaron muy cerca del área urbana y que pueden reactivarse.

El AA.HH. Ramón Castilla es afectado por deslizamientos desarrollados en afloramientos con pendientes fuertes a muy escarpadas conformadas por granitos muy meteorizados y

deleznables, las viviendas ubicadas sobre estas laderas son afectadas por los materiales desplazados que se activan en temporada de lluvias.

El sector Villa Deportiva es afectado por caídas de rocas desarrollados en afloramientos de cuarcitas muy fracturadas y los deslizamientos afectan depósitos aluviales poco compactos, las viviendas próximas a la vía Pacaipampa Tulman son afectadas por la caída de clastos y bloques que se desprenden de la ladera.

El área urbana de Pacaipampa tiene **Peligro Medio** por flujo de detritos y **Alto** por deslizamientos, estos últimos, provenientes de la parte alta de los sectores El Altillo y el AA.HH. Sagrado Corazón.

El sector El Altillo tiene **Peligro Alto** por deslizamientos y cárcavas que podrían activarse ante lluvias extraordinarias y afectar las viviendas ubicadas en la ladera y el área urbana del mismo Pacaipampa.

El AA.HH. Sagrado Corazón tiene **Peligro Alto** por cárcavas y la reactivación de deslizamientos antiguos, el AA.HH. Ramón Castilla tiene **Peligro Alto** por deslizamientos recientes y la reactivación de deslizamientos antiguos, mientras que, el sector Villa Deportiva presenta **Peligro Alto** por deslizamientos y caídas de rocas

Finalmente, en el área urbana de Pacaipampa se recomienda mejorar el drenaje pluvial, plantear el enrocado o la construcción de muros de concreto en las principales quebradas, además de, realizar el monitoreo de los deslizamientos en los alrededores.

En el sector El Altillo se debe restringir la construcción de nuevas viviendas e implementar una reubicación progresiva, y como medida temporal se debe impermeabilizar canales y acequias ubicadas en la ladera.

En el AA.HH. Sagrado Corazón se debe implementar un drenaje pluvial para el manejo de la escorrentía, también se debe restringir la construcción de viviendas próximas a laderas con fuertes pendientes expuestas a deslizamientos antiguos.

En el AA.HH. Ramón Castilla se debe realizar la estabilización de laderas y taludes, la colocación de mallas, además de restringir la construcción de viviendas en zonas inestables o la modificación de laderas con cortes o pendientes críticas. También se debe mejorar el drenaje en las vías de acceso con la implementación de cunetas, badenes y adecuado mantenimiento.

En el sector Villa Deportiva ocurren caídas de rocas que deben ser controladas mediante el banqueteo para disminuir la fuerte pendiente, además de la implementación de mallas en las zonas cartografiadas con deslizamientos y caídas de rocas. Además, se den restringir la construcción de viviendas en zonas críticas, así como mejorar el drenaje en la principal vía de acceso.

1. INTRODUCCIÓN

El Ingemmet, ente técnico-científico que desarrolla a través de los proyectos de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (ACT. 11)”, contribuye de esta forma con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro geológico (movimientos en masa) en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud de la Municipalidad Distrital de Pacaipampa, según Oficio N° 033-2021-MDP-A, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa de tipo deslizamientos, cárcavas y caídas de rocas, que afectaron los sectores Sagrado Corazón, Villa Deportiva, Ramón Castilla y El Altillo ubicados en el área urbana de Pacaipampa.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó al ingeniero Cristhian Chiroque Herrera para realizar la evaluación geológica, geomorfológica y geodinámica de los peligros geológicos que afectan el área urbana e infraestructura vital, los trabajos de campo se realizaron el día 26 de marzo del 2021.

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

Este informe se pone en consideración de la Municipalidad Distrital de Pacaipampa y entidades encargadas en la gestión del riesgo de desastres donde se proporcionan resultados de la inspección y recomendaciones para la mitigación y reducción del riesgo, a fin de que sea un instrumento técnico para la toma de decisiones.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Identificar, tipificar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa que se desarrollan en el área urbana de Pacaipampa: sectores Sagrado Corazón, Villa Deportiva, Ramón Castilla y El Altillo. Procesos geodinámicos que pueden comprometer la seguridad física de la población, viviendas, obras de infraestructura y vías de comunicación.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de movimientos en masa.
- c) Emitir las recomendaciones generales para la reducción o mitigación de los daños que pueden causar los peligros geológicos identificados.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del INGEMMET relacionados a temas de geología y geodinámica externa de los cuales destacan los siguientes:

- A. Informe A6787: “Peligros geológicos y geo-hidrológicos detonados por el Niño Costero 2017 en la región Piura: análisis geológico, geomorfológico y de peligros en la ciudad de Piura y centros poblados afectados por inundación en el tramo comprendido entre la presa Los Ejidos y la Unión” (Vílchez. M, et al 2017). El Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, evaluó y elaboró a detalle el inventario y caracterización de zonas afectadas por peligros geológicos desencadenados por el denominado Niño Costero durante los meses de enero a marzo del 2017. Los datos recopilados permitieron actualizar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa de la región Piura a escala 1:100 000, se realizó la superposición de mapas de factores condicionantes (litología, geomorfología, pendientes, cobertura vegetal, entre otros), mediante un geoprocetamiento en GIS, en la generación de los respectivos peligros obteniéndose una zonificación del peligro (figura 01). La zona de evaluación presenta una susceptibilidad alta por movimientos en masa, describiendo zonas con rocas intensamente meteorizadas y muy fracturadas con presencia de humedad, los depósitos superficiales inconsolidados se distribuyen en laderas con pendientes entre 30° a 45°.

- B. De acuerdo con el boletín N° 39, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos y Pomahuaca 9-c, 9-d, 10-c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d y 12-e (Reyes & Caldas, 1987). El área de evaluación se ubica al norte de la hoja 10-d a escala 1: 100,000 que abarca gran parte de la provincia de Ayabaca. Localmente, en la zona afloran rocas ígneas y metamórficas del Grupo Salas conformadas por filitas y tobas pizarrosas intercaladas con cuarcitas, estos afloramientos se observan al norte y este del área urbana de Pacaipampa, se muestran muy fracturadas e intensamente meteorizadas. Al norte y en los alrededores afloran cuerpos graníticos muy meteorizados y fracturados, la erosión de este tipo de rocas dio como resultado un depósito aluvial muy poroso conformado por arenas limosas con capas de aspecto blanquecino a rosado poco compactas y muy erosionables.

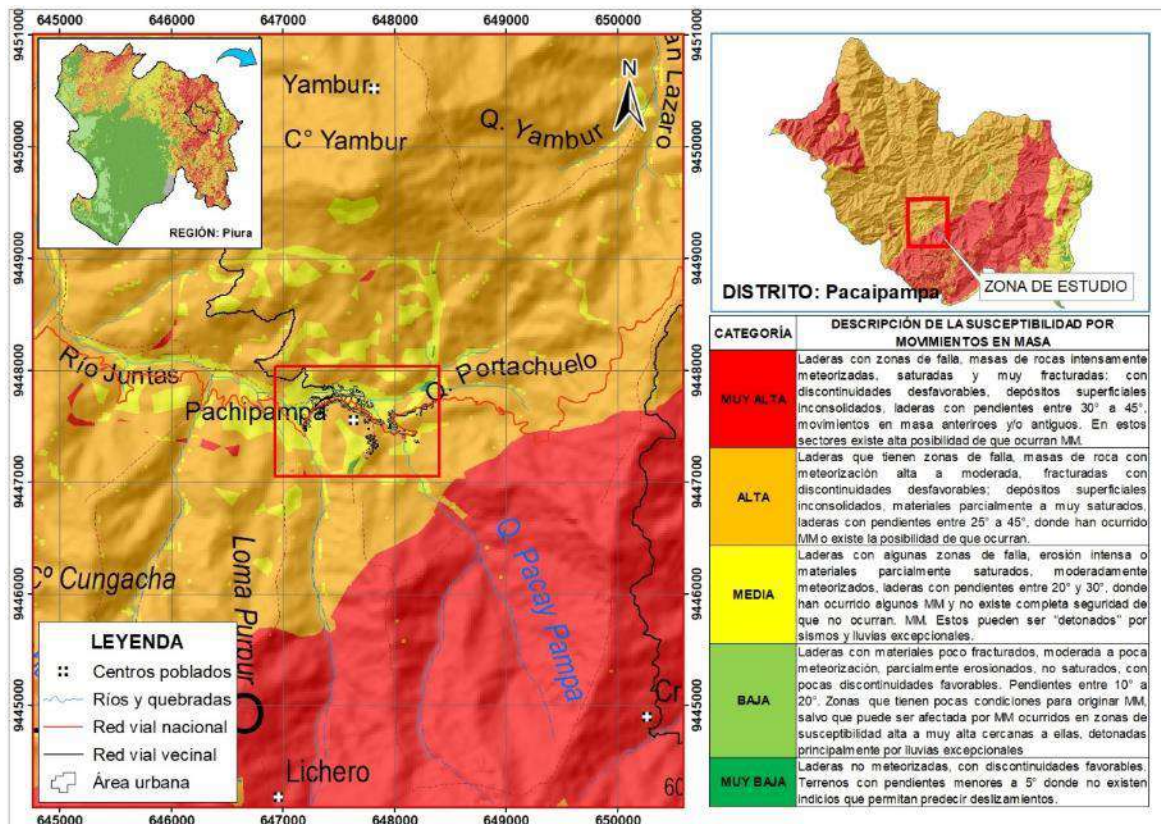


Figura 01. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:100 000 de la zona de evaluación (Vílchez et al., 2017).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación abarca los sectores Sagrado Corazón, Villa Deportiva, Ramón Castilla y El Altillo pertenecientes al área urbana del distrito de Pacaipampa, provincia de Ayabaca, región Piura (figura 02), y enmarca en las siguientes coordenadas UTM (WGS84 – Zona 17S):

Cuadro 01. Coordenadas del área de evaluación

N°	UTM - WGS84 - Zona 17L		Geográficas	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	646948	9448029	4° 59' 32.60" S	79° 40' 28.33" O
2	648393	9448029	4° 59' 32.50" S	79° 39' 41.42" O
3	648393	9447085	5° 0' 3.24" S	79° 39' 41.35" O
4	646948	9447085	5° 0' 3.33" S	79° 40' 28.27" O
COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL				
Z-1	647676	9447677	4° 59' 44.01" S	79° 40' 4.67" O

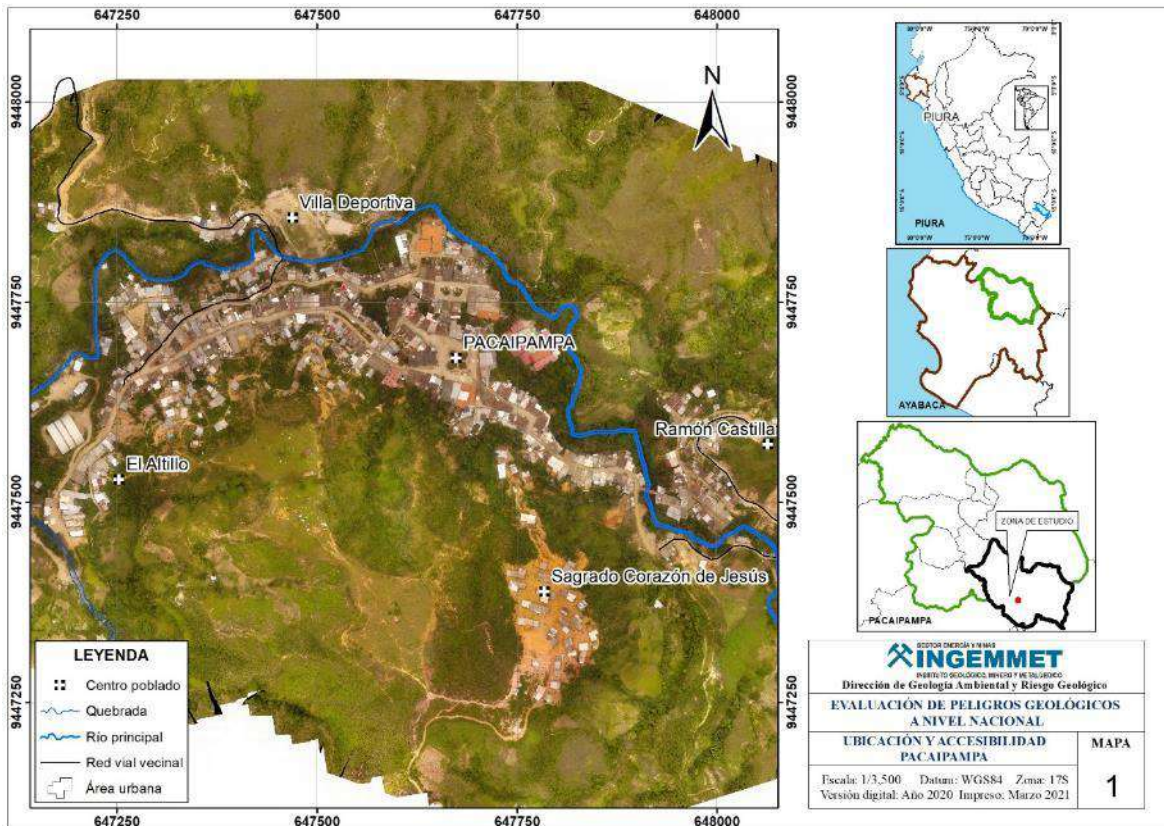


Figura 02. Mapa de ubicación de los sectores Sagrado Corazón, Villa Deportiva, Ramón Castilla y El Altillo.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona se realizó desde la ciudad de Piura mediante la siguiente ruta:

Cuadro 02. Rutas y accesos a la zona evaluada

Ruta	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Piura - Morropón	Asfaltada	87.2	1 h 45 min
Morropón – Pacaipampa	Trocha carrozable	87	2 h 15 min

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico se desarrolló en base al cuadrángulo geológico de Ayabaca hoja 10-d a escala 1:100 000 (Reyes & Caldas, 1987). Además, se realizó la interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo.

En las inmediaciones del área de estudio afloran principalmente granitos y cuarcitas correspondientes al Granito Paltashaco y al Grupo Salas distribuidos al sur y norte respectivamente. Los depósitos aluviales se distribuyen a lo largo del cauce de las

quebradas Pacay Pampa y Portachuelo y en las laderas de montañas al norte y sur, estas coberturas presentan espesor variable (figura 03).

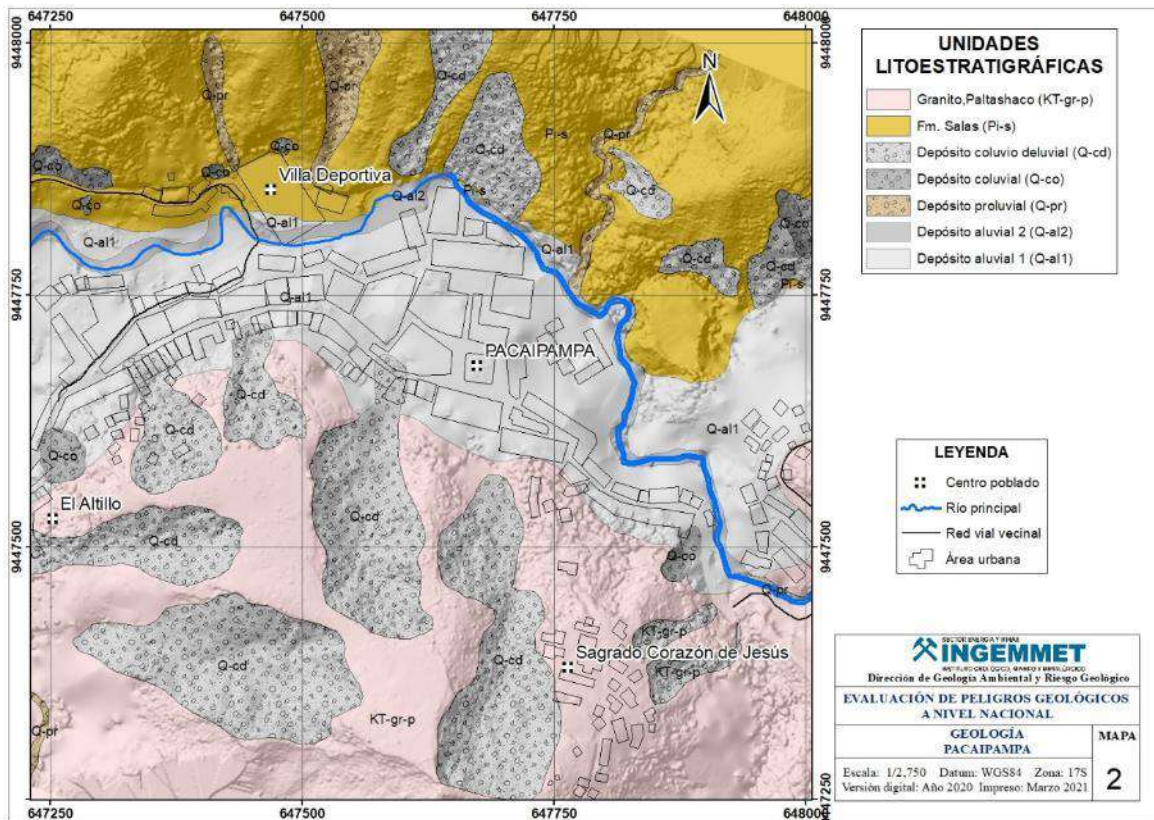


Figura 03. Geología del cuadrángulo de Ayabaca 10d a escala 1:100 000 (Mejorado de Reyes y Caldas, 1987).

2.1. Unidades litoestratigráficas

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

2.1.1. Grupo Salas (ks-bm)

Son secuencia de rocas metamórficas, conformadas por filitas y tobas pizarrosas intercaladas con capas delgadas de cuarcitas de grano fino, se encuentran intensamente fracturadas y muy meteorizadas, afloran al norte del área urbana de Pacaipampa, entre los sectores Villa Deportiva y Ramón Castilla (Reyes & Caldas, 1987).

2.1.2. Granito Paltashaco (kt-gr-p)

Este plutón debe su nombre al centro poblado Paltashaco ubicado en la provincia de Morropón, se distribuye en gran parte del área de evaluación y está conformada por granitos que localmente se encuentran muy meteorizados e intensamente alterados y fracturados (Reyes & Caldas, 1987).

2.1.3. Depósitos cuaternarios

Depósitos aluviales 1 (Q-al1)

Están constituidos por gravas y arenas mal seleccionadas en matriz areno-limosa. Se le puede apreciar en los cursos principales de los ríos Pacay Pampa y Portachuelo, formando terrazas con desniveles menores a 2 m; son de edad Cuaternaria.

Depósitos aluviales 2 (Q-al2)

Están conformados por depósitos de gravas y arenas en matriz areno-limosa; se les encuentra formando parte de conos de deyección o piedemontes que confluyen hacia los cursos principales de los ríos; estos depósitos son de edad Cuaternaria.

Depósito proluvial (Q-pr)

Están conformados por fragmentos rocosos heterométricos (cantos y bloques), con relleno areno limoso depositado en el fondo de quebradas tributarias y conos deyección en confluencia con los ríos Portachuelo y Pacay Pampa.

Depósito coluvial (Q-co)

Los depósitos coluviales son producto de deslizamientos, desarrollados al sur del área de estudio sobre los granitos Paltashaco. Estos depósitos están constituidos por bloques y gravas no consolidadas, heterométricas angulosas de origen volcánico, dentro de matriz limo arcillosa color rojo pardusco, con escasa cohesión, plasticidad media, húmedas al tacto e inestables, presentan malas características geotécnicas y se consideran suelos no competentes, susceptibles a la generación de movimientos en masa.

Depósito coluvio deluvial (Q-cd)

Son aquellos depósitos que se encuentran acumulados al pie de laderas prominentes, como material de escombros constituidos por bloques de gravas, guijarros con clastos subangulosos a angulosos y matriz areno-limosa que han sufrido transporte. Los depósitos de esta unidad son conformados por depósitos de movimientos de masa antiguos, como los deslizamientos, avalanchas y derrumbes. Estos depósitos no consolidados de origen volcánico, heterométricos con matriz limo arcillosa, tienen escasa cohesión con malas características geotécnicas y se consideran suelos no competentes, susceptibles a la generación de movimientos en masa.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para el análisis de la geomorfología, la brigada de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR) realizó el levantamiento fotogramétrico con drones, de donde se obtuvo el modelo digital de elevaciones, pendientes y ortofoto con una resolución (GSD) de 5 cm por pixel. Esta información se complementó con el análisis de imágenes satelitales y el análisis de la morfometría del relieve en los trabajos de campo.

3.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona de estudio se distribuye sobre un relieve con elevaciones entre 1900 m s.n.m y 2500 m s.n.m; mientras que, el área urbana del centro poblado de Pacaipampa se asienta sobre superficies con elevaciones entre 1942 m s.n.m y 2010 m s.n.m. Las máximas elevaciones se ubican al norte, sur y este con superficies que sobrepasan los 2500 m de altitud. Los principales movimientos en masa identificados se han delimitado al sur sobre relieves con elevaciones desde 2043 m de altitud llegan hasta el área urbana de Pacaipampa y descienden hasta 1900 m. Los sectores El Altillo y Villa Deportiva se ubican sobre relieves con elevaciones entre 1976 y 2010 m s.n.m, mientras que, los AA.HH. Ramón Castilla y Sagrado Corazón de Jesús se ubican sobre los 2043 m s.n.m (figura 04).

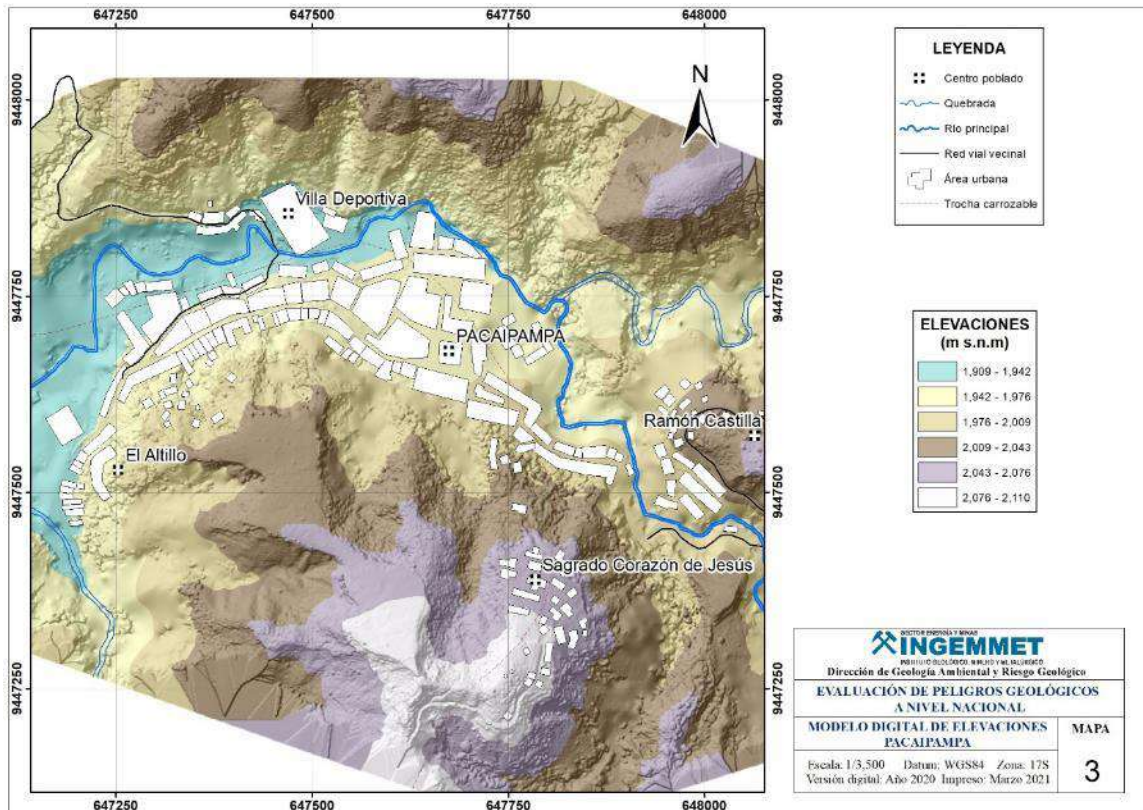


Figura 04. Mapa de elevaciones (Elaboración propia).

3.2. Pendientes del terreno

En la etapa de campo se delimitó el área de intervención que abarcó un total de 67 has, del análisis del mapa de pendientes se determinó que el 33% equivalente a 22 has presenta relieves con pendientes llanas a suavemente inclinadas, el 33% aproximadamente 22 has presenta pendientes moderadas (5°-15°); mientras que, el 28% (19 has) son superficies con pendientes fuertes a muy fuerte (15° - 45°). Las pendientes muy escarpadas abarcan solo 4 has (6%) y representan los cauces de las quebradas y laderas adyacentes (figura 05).

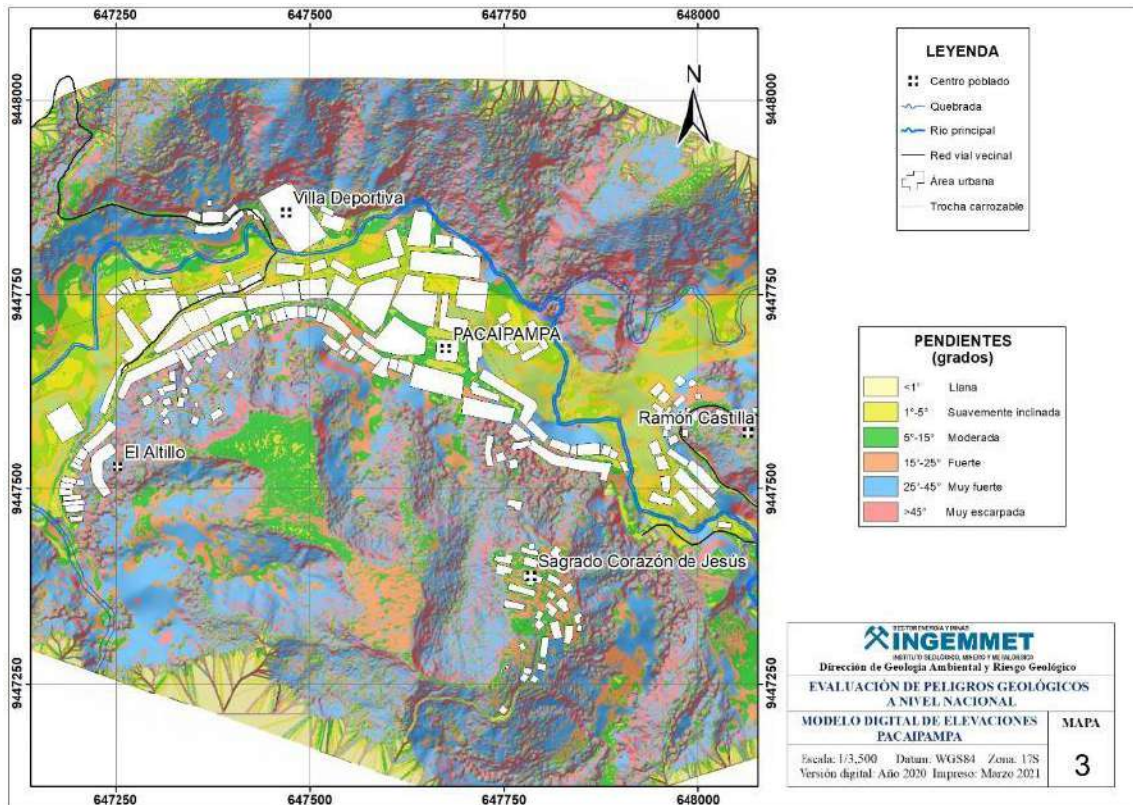


Figura 05. Mapa de pendientes del área urbana del distrito de Pacaipampa (Adaptado y mejorado del Boletín de la serie C, N° 52).

3.3. Unidades geomorfológicas

En general, desde el punto de vista morfoestructural regional, el área estudiada se ubica en la Cordillera Occidental del Perú, la cual se encuentra disectada por varios cursos de ríos y quebradas, entre los principales se tienen a los ríos Chira, Piura y Huancabamba. (Vílchez et al., 2013).

3.3.1. Geformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan otras geformas preexistentes:

3.3.1.1. Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de desnivel, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semiredondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas regulares, irregulares a complejas presentan un declive promedio superior al 30% (FAO, 1968, citado por Villota. 2005, p. 43).

Subunidad de montaña en roca intrusiva (RM-ri): Estas geoformas se ubican al sur y este de Pacaipampa y configuran las partes más altas de la zona de estudio con pendientes moderadas a muy fuertes ($5^\circ - 45^\circ$) desde donde descienden las quebradas que llegan hasta el área urbana (figura 06).



Figura 06. Montaña ubicada al sur del área urbana de Pacaipampa.

Subunidad de montaña en roca metamórfica (RM-rm): Estas geoformas se ubican al norte de Pacaipampa y configuran las partes más altas de la zona de estudio con pendientes moderadas a muy fuertes ($5^\circ - 45^\circ$) desde donde descienden las quebradas que llegan hasta el área urbana (figura 07).



Figura 07. Montaña en roca metamórfica ubicada al norte del área urbana de Pacaipampa.

3.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional

Están representadas por formas de terreno resultados de la acumulación de materiales provenientes de los procesos denudativos y erosionales que afectan las geoformas anteriores aquí se tiene:

3.3.2.1. Unidad de piedemonte

Superficie inclinada al pie de los sistemas montañosos, formada por caídas de rocas o por el acarreo de material aluvial arrastrado por corrientes de agua estacional y de carácter excepcional.

Subunidad vertiente o piedemonte aluvial (V-al): Es una subunidad ligeramente inclinada y extendida, posicionada al pie de estribaciones andinas o sistemas montañosos. Está conformada por la acumulación de sedimentos acarreados por corrientes de agua estacionales o excepcionales, que pueden formar abanicos (Vílchez et al., 2019). En el área de evaluación, esta subunidad se identifica en gran parte del área urbana modelada por las quebradas Pacay Pampa y Portachuelo, sobre esta superficie se asienta el área urbana de del distrito de Pacaipampa (figura 08).



Figura 08. Vista panorámica del piedemonte donde se ubica gran parte del área urbana de Pacaipampa.

Subunidad vertiente o piedemonte coluvio-deluvial (V-cd): Son unidades conformadas por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial. Se encuentran interestratificados y no es posible separarlas como unidades individuales: Esta unidad se encuentra depositada al pie de las laderas de montañas o acantilados (Vílchez et al., 2019). Se formó por la acción de movimientos en masa antiguos (gravitacionales y fluvio-gravitacionales), presenta una pendiente moderada (5°-15°). Geodinámicamente, este tipo de depósitos se pueden asociar a la ocurrencia de movimientos en masa de tipo complejos, deslizamientos y flujo de detritos (figura 09).



Figura 09. Laderas con evidencias de depósitos coluvio deluviales al sur del área urbanas de Pacaipampa.

Subunidad de vertiente o piedemonte aluvio-torrencial (P-at): Son el resultado de la acumulación de material movilizado a manera de flujos de detritos (huaicos), modifican localmente la dirección de los cursos de ríos y se ubican en las desembocaduras de quebradas hacia los ríos principales. La quebrada Portachuelo, afluente al río Pacay Pampa forma depósitos proluviales producto de la acumulación de material acarreado por huaicos antiguos, el cual está conformado por bloques de rocas volcánicas e ígneas (figura 10).



Figura 10. Quebrada Portachuelo donde existen depósitos aluvio torrenciales.

Sub Unidad de vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): Son acumulaciones de ladera originadas por procesos de movimientos en masa, prehistóricos, antiguos y recientes, que pueden ser del tipo deslizamientos, avalancha de rocas y/o movimientos complejos. Generalmente su composición litológica es homogénea; con materiales inconsolidados a ligeramente consolidados, son depósitos de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores de los valles (figura 11).

Subunidad de cauce de río (R): Está unidad corresponde a los cauces y lechos de las quebradas Pacay Pampa y Portachuelo, principales recolectores del drenaje fluvial. Ambas quebradas cruzan la zona de este a oeste con una pendiente moderada, ambas quebradas transportan materiales conformados por clastos, gravas y arenas gruesas recorriendo un total de 2 km dentro del área de evaluación (figura 12).

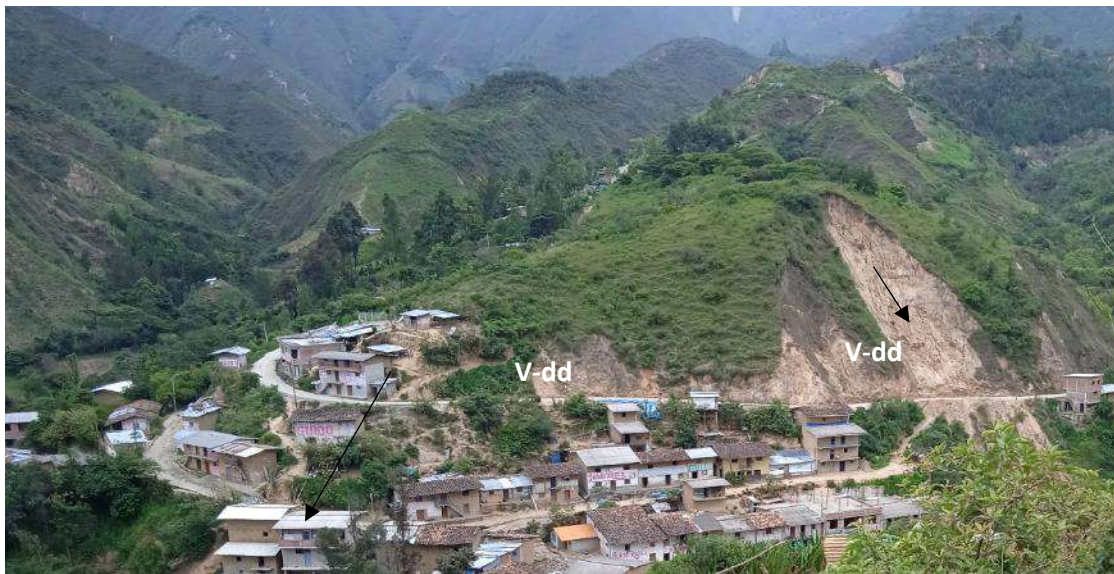


Figura 11. Vista de los depósitos de deslizamientos con procesos de cárcavas.



Figura12. Quebrada Pacay Pampa al este del área urbana.

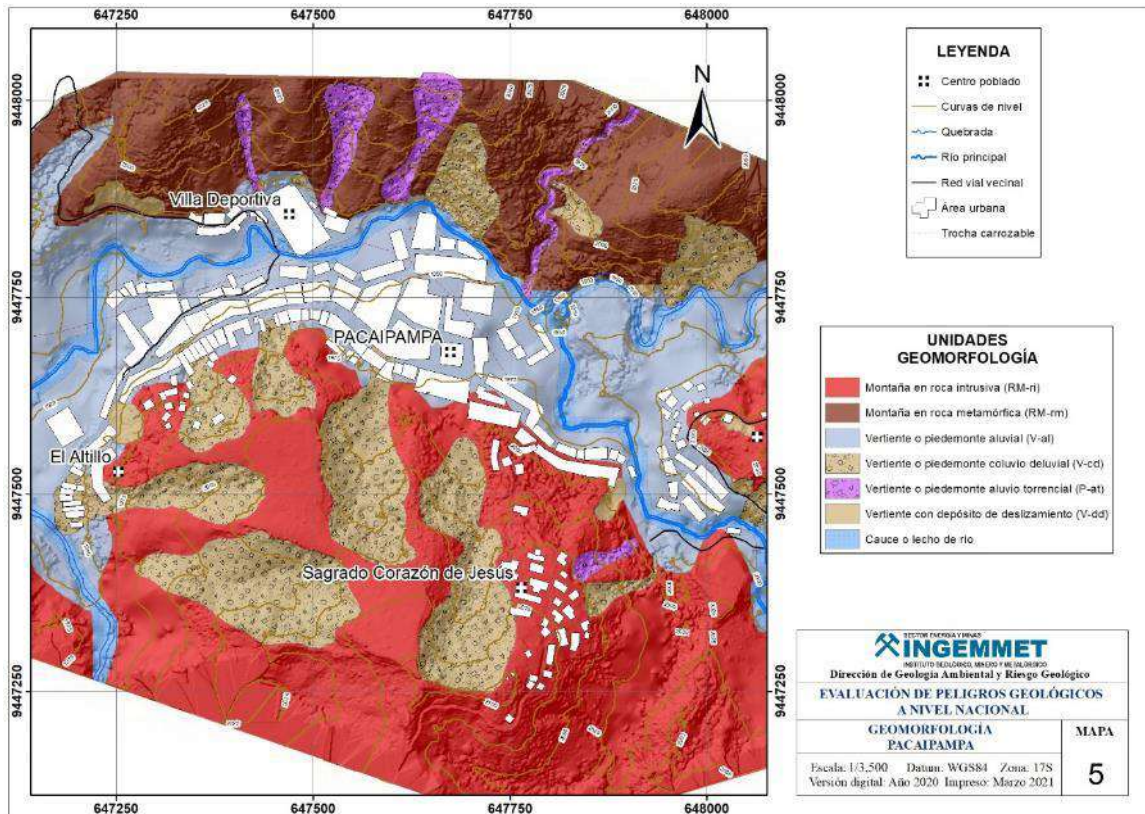


Figura 13. Geformas en el área urbana de Pacaipampa y alrededores (Elaboración propia).

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en la zona evaluada corresponden a movimientos en masa, tipo deslizamientos, reptación de suelos y erosión de laderas (PMA: GCA, 2007). Estos procesos son resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua provenientes desde la parte alta de la cuenca, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa. Estos modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos y quebradas.

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

4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa

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).

Para la caracterización de los eventos geodinámicos ocurridos en el área urbana de Pacaipampa, los AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús y Ramón Castilla y los sectores El Altillo y Villa Deportiva, se realizaron con trabajos de campo, donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel del terreno, fotografías aéreas, ortofotos y modelos digitales de terreno.

A continuación, se describen los peligros geológicos identificados y caracterizados en las siguientes zonas

4.1.1. Deslizamientos en el sector El Altillo

Desde el año 2010, 2012 y durante el mes de marzo del 2017 en El Fenómeno El Niño, las lluvias extraordinarias originaron deslizamientos y procesos de erosión; las precipitaciones y el agua de escorrentía sobresaturan los suelos perdiendo estabilidad. Recientemente, durante el mes de marzo del 2019, 2020 y 2021, se registraron lluvias intensas que detonaron deslizamientos, estos eventos afectaron viviendas.

Deslizamientos antiguos (DAN):

Al sur del área urbana de Pacaipampa se ubican el sector El Altillo y el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús, en esta zona se han identificado deslizamientos antiguos con escarpes semicirculares, estos bordean al Cementerio Municipal (figuras 14 y 15).

- Los escarpes de los deslizamientos se ubican sobre elevaciones entre 2014 y 2041 m s.n.m. y se desplazan hasta los 1972 m s.n.m.
- La longitud máxima y mínima de los escarpes llega a 351 m y 111 m, el desnivel promedio entre la corona y el pie de los deslizamientos se han estimado en 240 m.
- El área total afectada: 10 ha de la cuales pueden extenderse a 22 has donde se han proyectado formación de nuevos escarpes.
- Salto de falla principal: 5 m.
- Largo y ancho de los deslizamientos de las zonas afectadas: 315 m y 130 m.
- Volumen desplazado: 31 220 m³.

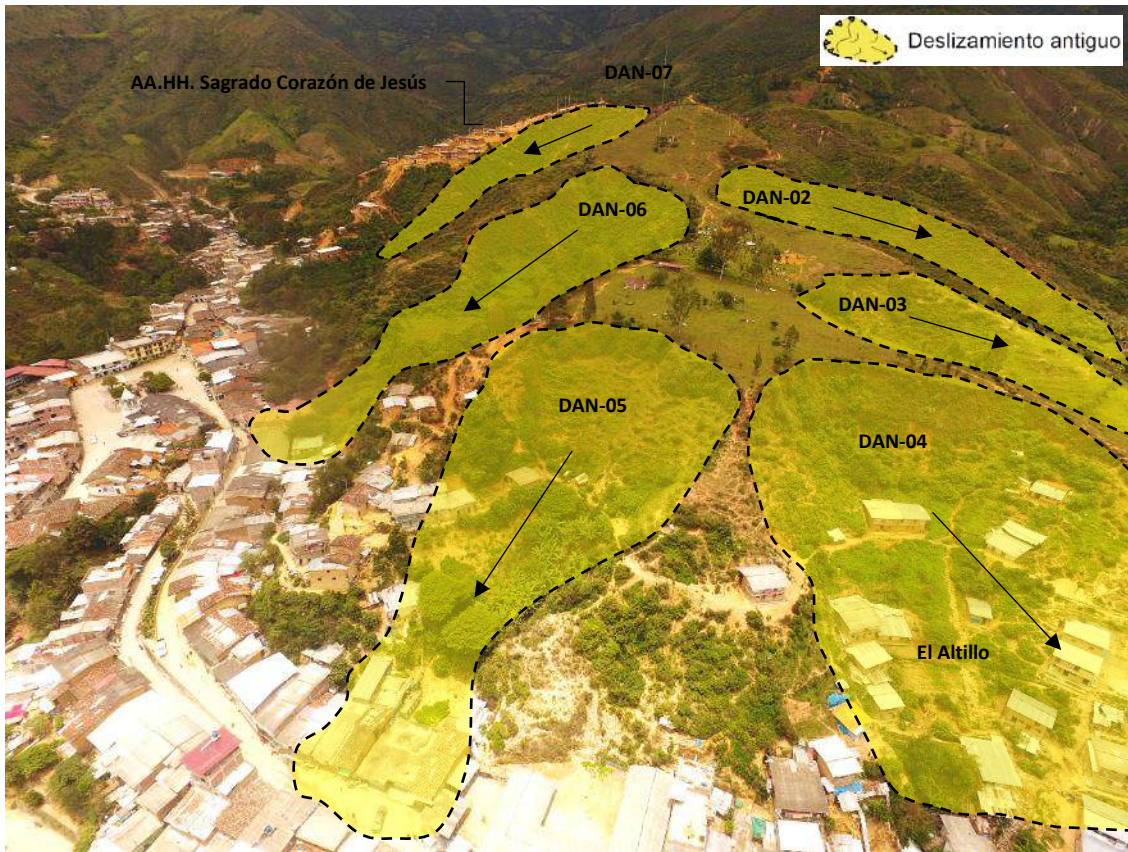


Figura 14. Vista panorámica de los deslizamientos ubicados entre el AA.HH. Sagrado Corazón y el sector El Altillo, coordenadas 9447554N y 647452E.



Figura 15. DAN 07, deslizamiento antiguo al límite del perímetro del área una del AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús, coordenadas 9447387N y 647654E

Los escarpes se ubican a menos de 10 m de las viviendas, la mayoría de ellas se asientan sobre terrazas que han modificado el talud de la ladera, el principal material de construcción es el adobe o quincha con armazón de madera (figura 16 y 17).



Figura 16. DAN 03, deslizamiento antiguo en el sector El Altillo en las coordenadas 9447655N y 647420E.



Figura 17. Grietas observadas en el interior de las viviendas, coordenadas 9447643N y 647400E.

Se han observado en campo grietas longitudinales a lo largo de las vías de acceso, pisos de viviendas y patios donde por lo general se evidenció presencia de humedad. La

seguridad física de las viviendas se ve comprometida, la mayoría tienen dos (02) niveles del mismo material, que ante un colapso por sismo incrementaría los daños (figura 18).

Las laderas afectadas por antiguos deslizamientos vienen siendo ocupadas por viviendas, cuyo proceso de construcción implica la modificación del talud.



Figura 18. Vista panorámica de las zonas afectadas por deslizamientos antiguos ubicados en las coordenadas 9447641N y 647413E.

Deslizamiento reciente (DR):

El deslizamiento ocurrido en el mes de marzo del 2017, afectó varias viviendas ubicadas en la calle La Unión, ingreso principal al área urbana del distrito de Pacaipampa, este proceso de remoción en masa desplazó una cantidad considerable de materiales hacia la calle principal interrumpiendo el paso vehicular y peatonal, una vivienda fue destruida completamente quedando inhabitable (figura 19).



Figura 19. Vista frontal desde la calle La Unión donde 5 viviendas fueron afectadas por el deslizamiento.

Se recopilieron imágenes satelitales disponibles del año 2010, 2012 y se realizó el levantamiento fotogramétrico con drone donde se obtuvo una ortofoto de alta resolución, en la comparación se observó la ocupación indiscriminada de las viviendas en la ladera este en el cerro El Altillo (figura 20).



Figura 20. Imágenes satelitales 2010, 2012 y 2021 en el sector El Altillo.

4.1.2. Erosión de laderas en el AA.HH. Sagrado Corazón

Una cárcava es un canal natural o incisión causado por un flujo de agua concentrado, a través del cual fluye la escorrentía durante o inmediatamente después de un evento intenso de lluvia (SCSA, 1982). Además de litologías erosionables, también afectan coberturas aluviales o detríticas que son afectadas por aguas de escorrentía no canalizada, en la zona de estudio se han identificado formación de cárcavas que afectan vías de acceso y viviendas.

CARACTERÍSTICAS VISUALES DE LOS EVENTOS:

Las cárcavas en el A.H. Sagrado Corazón de Jesús tienen las siguientes características (figuras 21, 22 y 23):

- El área afectada entre el área urbana de Sagrado Corazón y el sector El Altillo alcanza 1.9 ha.
- Estado de evolución avanzado debido al ancho y profundidad de las cárcavas.
- Longitud máxima: 106 m.
- Ancho máximo: 0.50 m y profundidad: 0.30 m.
- Las cárcavas afectan viviendas, vías calles y laderas con pendiente moderada.
- Causa principal de erosión: ausencia de drenaje pluvial y suelos poco compactos susceptibles a erosión.



Figura 21. Vista de calles en el AA.HH. Sagrado Corazón en las coordenadas 9447408N y 647800E



Figura 22. Vivienda afectada por procesos de erosión en las coordenadas 9447405N y 647751E.



Figura 23. Laderas próximas al área urbana de Pacaipampa afectadas por cárcavas, coordenadas 9493135N y 633906E.

4.1.3. Deslizamientos en el sector Villa Deportiva

En el año 2017, entre enero y marzo se produjeron lluvias extraordinarias originaron deslizamientos; las precipitaciones sobresaturan los suelos perdiendo estabilidad. Recientemente, en el mes de marzo del 2021, se registraron lluvias intensas que detonaron deslizamientos, estos eventos afectaron viviendas y vías de acceso.

Deslizamientos recientes (DR):

Al norte en el sector denominado como Villa Deportiva se identificó un deslizamiento de 85 m de largo que afectan varias viviendas y la vía de acceso Pacaipampa hacia los caseríos Altamiza – El Algarrobo (figuras 24 y 25).

CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

El deslizamiento en el sector Villa Deportiva tiene las siguientes características (figuras 21 y 22):

- La escarpa del deslizamiento y zona de arranque se desplaza desde la cota 1985 m s.n.m. hasta los 1953 m s.n.m.
- La longitud total del escarpe llega 128 m de longitud, el desnivel entre el escarpe y el pie llega a 30 m.
- El área afectada: 0.3 ha.
- El salto de falla principal mide 0.50 m.
- Largo y ancho del deslizamiento de la zona afectada: 102 m y 30 m.



Figura 24. Vista de sur a norte del sector Villa Deportiva ubicada en las coordenadas: 9447879N y 647295E.

Las viviendas del sector Villa deportiva se ubican en el frente del escarpe, los materiales deslizados en temporada de lluvias se depositan en la vía y luego ingresa a las casas.



Figura 25. Escarpe principal del deslizamiento que afecta viviendas ubicada en la calle Villa Deportiva, coordenadas 9447863N y 647339E.

4.1.4. Caída de rocas en el sector Villa Deportiva

Las caídas de rocas ocurren sobre laderas con pendientes muy escarpadas con afloramientos muy fracturados e intensamente meteorizados. Estos procesos ocurren adyacentes a los deslizamientos donde los materiales de cobertura que han sido movilizados dejan el afloramiento de roca bajo condiciones geomecánicas desfavorables. Al norte del área urbana en el sector Villa deportiva se han identificado afloramientos de roca muy fracturadas, sobre la vía se observan bloques, clastos y detritos provenientes de la parte alta de la ladera.

CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO:

Las caídas de rocas tienen las siguientes características:

Las zonas afectadas por caídas de rocas deben ser constantemente limpiadas debido a la caída de los materiales en forma de bloques, clastos y gravas angulosas, estas laderas deben ser reforestadas o cubiertas por geo mallas que eviten que las caídas alcancen las viviendas ubicadas a escasos metros (figuras 26 y 27).

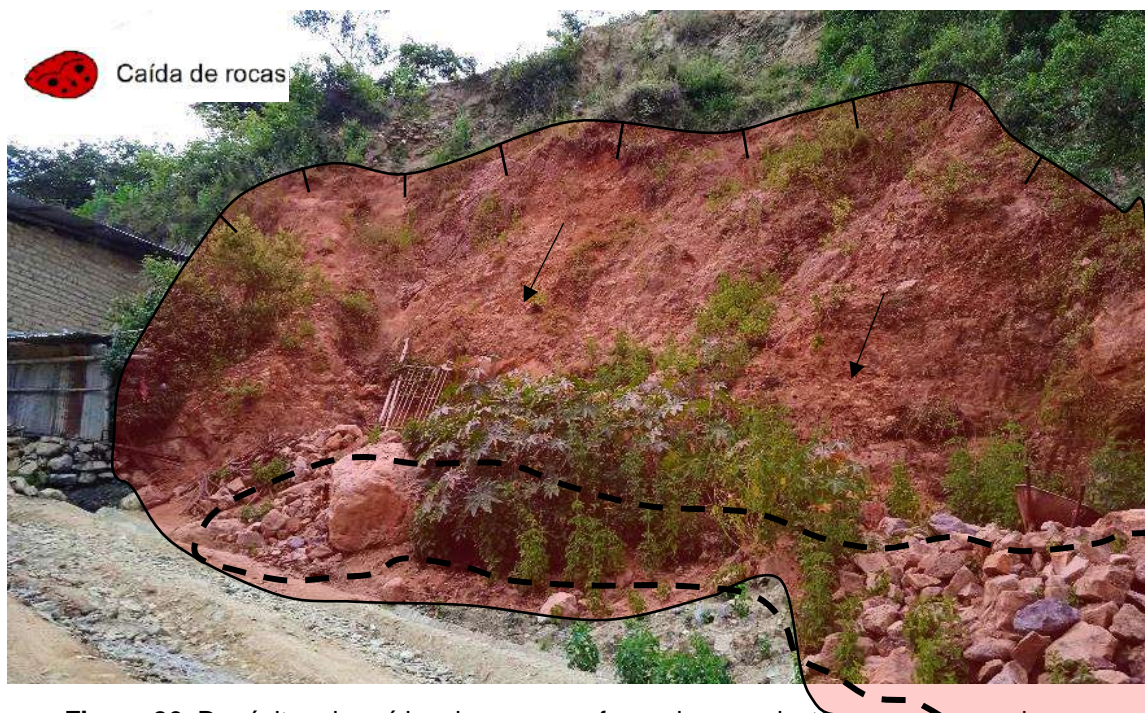


Figura 26. Depósitos de caídas de rocas conformadas por clastos y gravas angulosas, coordenadas 9447870N y 647410E.



Figura 27. Caídas de rocas en las coordenadas 9447870N y 647410E.

Estos bloques de cuarcitas se encuentran intensamente fracturadas, se desprende de la ladera debido a un avanzado procesos de erosión, escorrentía o sismos, descienden rodando o rebotando debido a la pendiente escarpada.

4.1.5. Deslizamientos en el AA.HH. Ramón Castilla

Los deslizamientos son activados por lluvias intensas, debido al tipo de cobertura susceptibles a movimientos en masa y al basamento rocoso muy fractura e intensamente meteorizados, los taludes subverticales también condicionan la ocurrencia de deslizamientos.

CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO

El deslizamiento en el AA.HH. Ramón Castilla ocurren en taludes verticales subverticales y en laderas con pendientes moderadas (figura 28):

- La escarpa del deslizamiento y zona de arranque se desplaza desde la cota 2034 m s.n.m. hasta los 2020 m s.n.m.
- La longitud total del escarpe llega 703 m de longitud, el desnivel entre el escarpe y el pie llega a 15 m.
- El área afectada: 0.15 ha.
- El salto de falla principal mide 7 m.
- Largo y ancho del deslizamiento de la zona afectada: 150 m y 15 m.



Figura 28. Zona de deslizamiento en el sector Ramón Castilla.

4.1.6. Flujos de detritos en la quebrada Pacay Pampa

Los flujos de detritos en la quebrada Pacay Pampa, se activan durante de la temporada de lluvias arrastrando clastos arenas y arcillas provenientes de deslizamientos de baja magnitud ubicados en la parte alta de la cuenca. Los flujos de desplazan de este a oeste ingresando al área urbana de Pacaipampa, la fuerza de este erosiona laderas y cauces de quebrada adyacentes.

CARACTERÍSTICAS VISUALES DEL EVENTO:

Las caídas de rocas tienen las siguientes características (figuras 29 y 30):

- Altura del flujo: 0.20 a 0.40 m.
- Ancho: 5 a 7 m.
- Contenido en porcentaje: 50% arena y limos, 10% gravas y gravillas y 40% de arcillas.
- Volumen desplazado: 121 000 m³.
- Activado por lluvias intensas y deslizamientos en la cabecera de las quebradas.



Figura 29. Riachuelo adyacente a la quebrada Pacay Pampa por donde descienden flujos en temporada de lluvias.



Figura 30. Riachuelo adyacente a la quebrada Pacay Pampa por donde descienden flujos en temporada de lluvias.

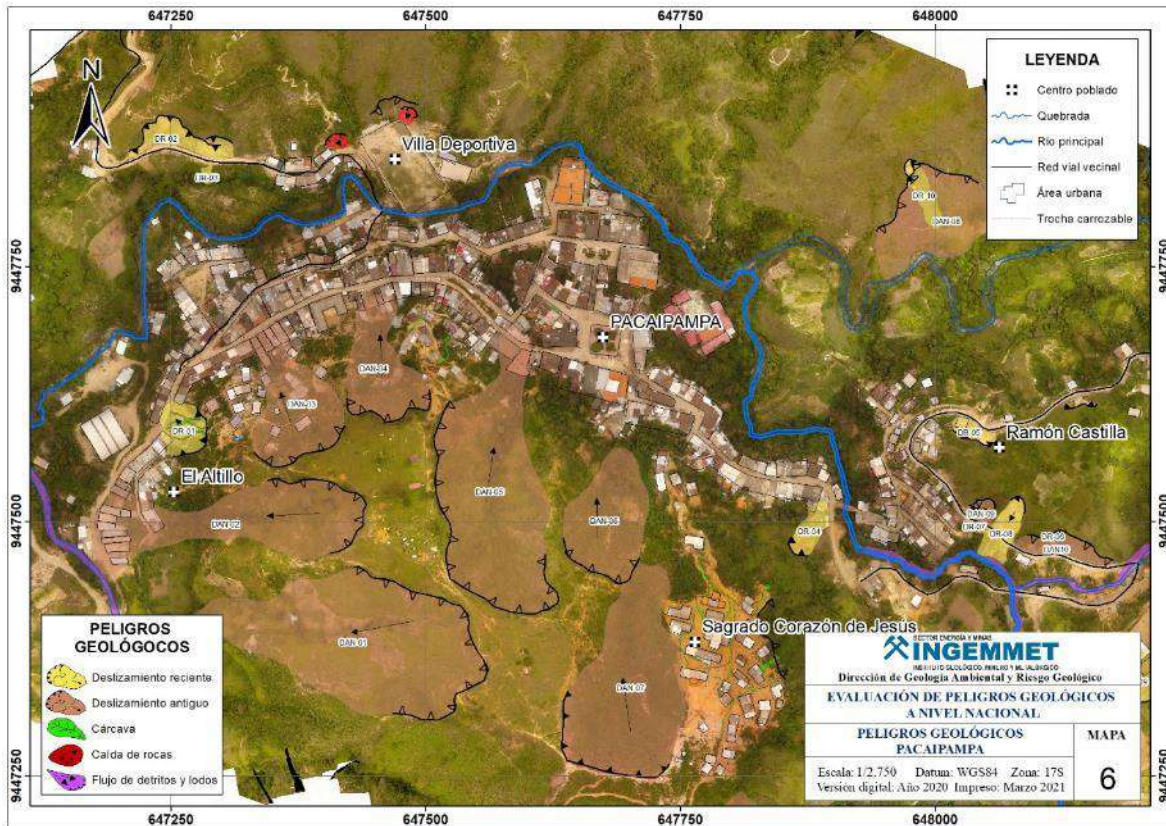


Figura 31. Peligros geológicos en el distrito de Pacaipampa y alrededores.

4.2. Factores condicionantes

4.2.1. Litología

La litología de la zona de evaluación está representada por dos tipos o grupos de rocas principales, las primeras conformadas por filitas y tobas pizarrosas intercaladas con cuarcitas, estos afloramientos pertenecen al Grupo Salas que principalmente se ubican al norte del área urbana de Pacaipampa y aparecen muy fracturadas e intensamente meteorizadas (figura 32).

El segundo grupo, domina gran parte del área urbana, está representado por el Granito Paltashaco muy intemperizado y deleznable expuesto a deslizamientos y erosión de laderas (figura 33).



Figura 32. Filitas y tobas pizarrosas con cuarcitas muy fracturadas, coordenadas 9447468N y 647902E



Figura 33. Granito se aspecto rosáceo muy deleznable en las coordenadas 9447578N y 647274E.

El depósito cuaternario está conformado por capas aluviales donde se observan clastos y gravas de granulometría angulosa a subredondeada, distribuidas de forma caótica lo que evidencia la ocurrencia de antiguos procesos de remoción en masa. La matriz está conformada por arenas limosas, estas capas forman un medio poroso por donde se infiltra el agua y sobresatura los sedimentos (figura 34).



Figura 34. Depósitos aluviales en las coordenadas 9493013N y 633366E.

4.2.2. Pendientes

Del análisis del mapa de pendientes y de las observaciones de campo se concluye que, la zona de estudio está dominada por montañas en rocas metamórficas e ígneas al norte y sur respectivamente, estas geoformas configuran relieves con pendientes moderadas a muy escarpadas (figuras 35 y 36). En los trabajos de campo se intervinieron un total de 107 ha, de las cuales el 72% aproximadamente 77 ha tienen pendientes fuertes a muy escarpadas, mientras que, los relieves con pendientes moderadas abarcan el 19% (20 ha).



Figura 35. Relieves con pendientes escarpadas, coordenadas 9447550N y 647746E.

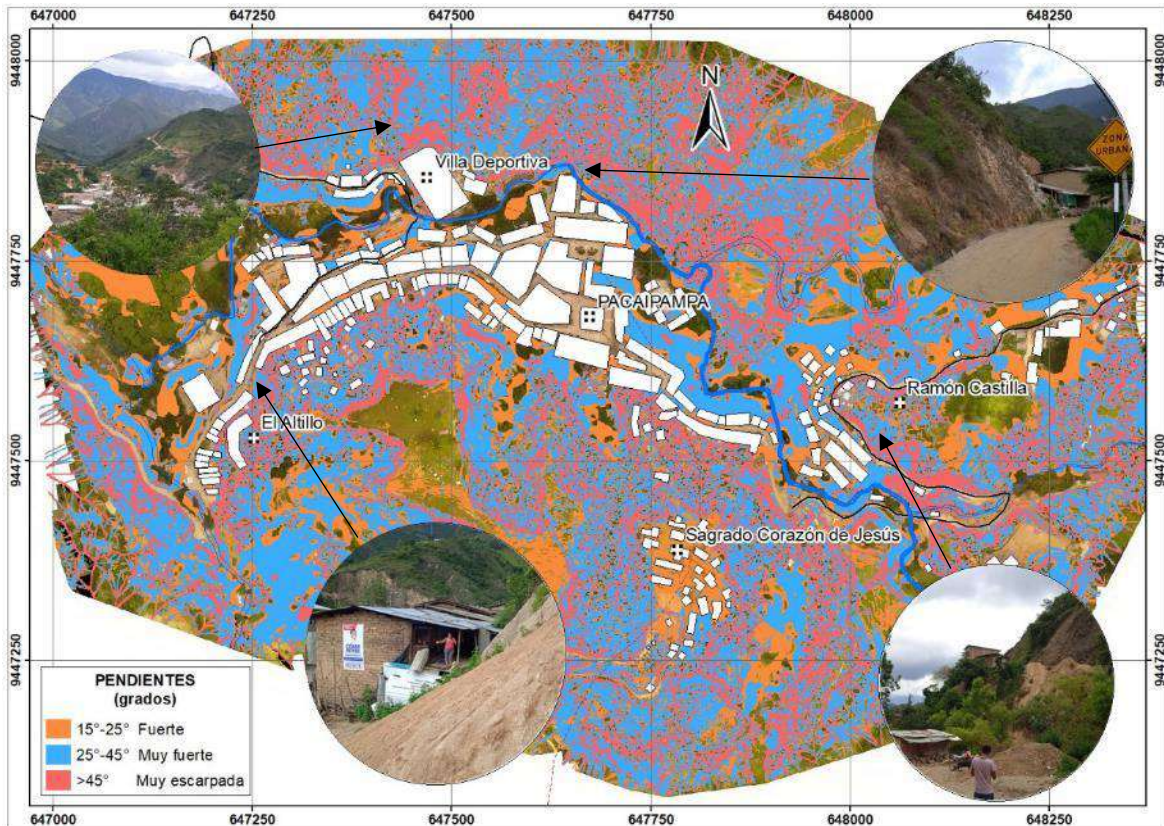


Figura 36. Rangos de pendientes del terreno de fuertes a muy escarpadas.

4.3. Factores antrópicos

El factor antrópico está representado por toda aquella actividad que induce un cambio o altera un relieve con la finalidad de emplazar viviendas, áreas urbanas o actividades productivas. Si estas transformaciones, no tienen un criterio adecuado o se realizan sobre relieves no adecuados suelen comprometer la seguridad física del área urbana.

La ocupación de áreas urbanas en condiciones no adecuadas implica modificar laderas, construir canales o acequias, alteras el suelo natural, entre otros, todos estos aspectos se observaron entre el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús y el sector El Altillo, no existen drenajes pluviales, se ha modificado el terreno natural, existen pendientes muy escarpadas que con el agua de escorrentía no manejada, erosiona los bordes próximos a las viviendas incrementando el peligro a colapsos (figura 37).

A continuación, se adjunta un cuadro con los factores antrópicos observados en campo y que han favorecido el incremento de la susceptibilidad a movimientos en masa:

Cuadro 03. Sectores críticos por actividad antrópica.

Descripción o situación	Coordenadas	
	Norte (m)	Este (m)
Construcción de zanjas para drenar agua	9447402	647799
Canales o drenes no impermeabilizados	9447670	647498

Cortes en talud	9447527	647241
Cortes no adecuados en taludes	9447481	647998



Figura 37. Zanja no revestida para drenar el agua de escorrentía en el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús, coordenadas 9447431N y 647787E.

4.4. Factores desencadenantes

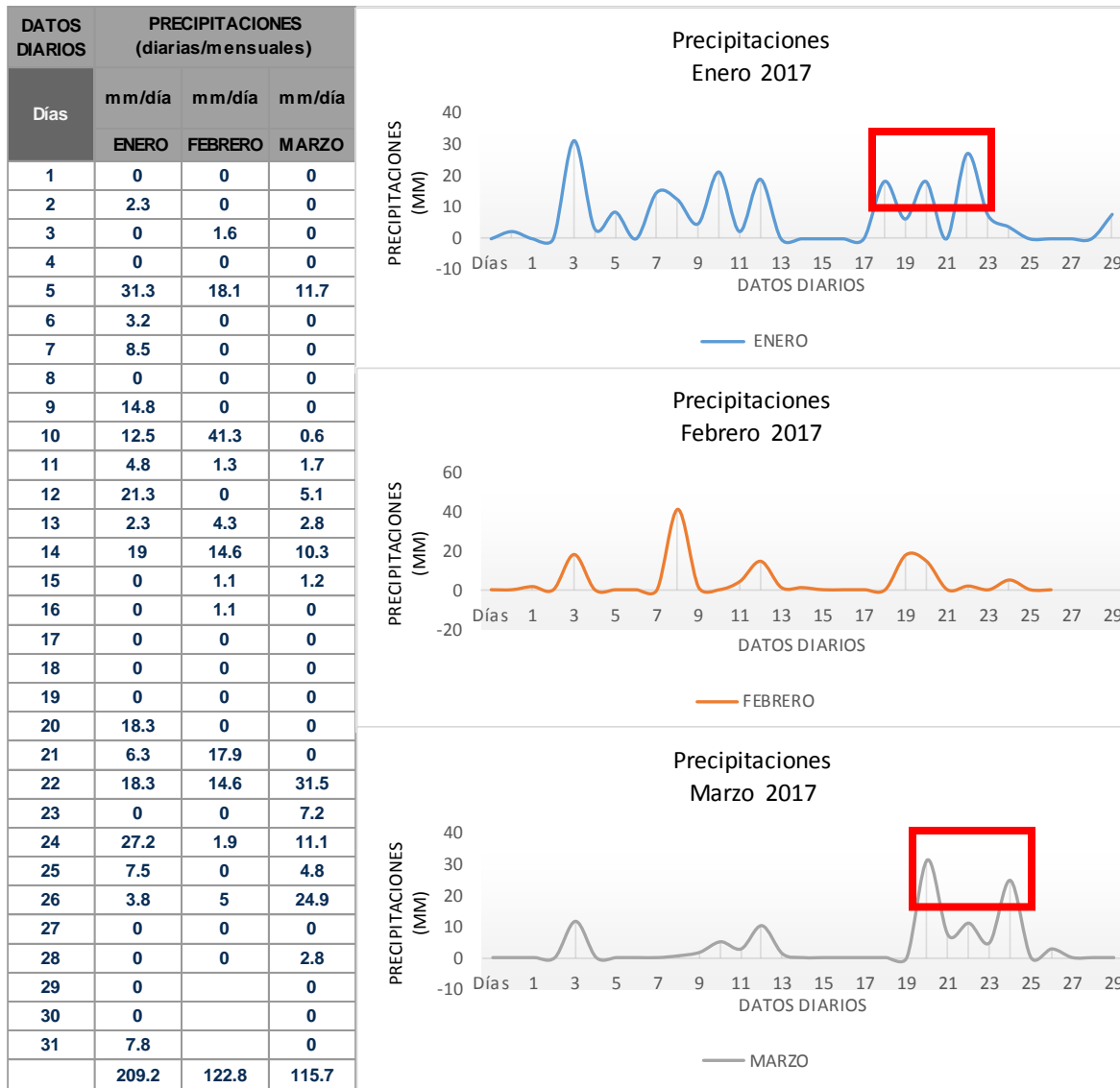
4.4.1. Lluvias intensas durante el Niño Costero

Se tomó la información procedente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), analizando las estaciones meteorológicas cercanas al distrito de Pacaipampa, se consideró la Estación Convencional Poclus ubicada en el distrito de Frías ubicada a 25 km al noroeste de la zona de evaluación (cuadros 04 y 05, gráfico 01).

Entre los meses de enero a marzo del 2017 se registraron lluvias intensas que superaron los 6, 11 y 20 mm días en enero, febrero y marzo respectivamente. Sin embargo, en el mes de marzo las lluvias sobrepasaron máximas de 60 mm, con un acumulado mensual de 637 mm (gráfico 01).

Cuadro 04. Ubicación de la estación meteorológica.

Estación: ALTO POCLUS					
Departamento:	PIURA	Provincia:	AYABACA	Distrito:	FRÍAS
Latitud:	4°55'0.85" S	Longitud:	79°53'25.7" W	Altitud:	3080 m s.n.m.
Tipo:	Convencional - Meteorológica			Código:	104097



Cuadro 05. Datos de precipitación mensual enero – marzo 2017.

Fuente: SENAMHI / DRD

* Datos sin control de calidad.

Para el año 2017, las precipitaciones llegaron a mínimos y máximos mensuales de 209, 1022 y 115 mm entre enero, febrero y marzo respectivamente, los picos más altos se registraron del 9 al 12 de enero y el 24 del mismo mes; mientras que, el 10 de febrero la precipitación máxima llegó a 41 mm. Finalmente, el 22 y 26 de marzo precipitó 31 y 25 mm diarios.

4.5. Daños por peligros geológicos

En la zona de evaluación se han producido los siguientes daños:

4.5.1. Sector El Altillo

El sector El Altillo fue afectada por deslizamientos, según reportes 03 viviendas ubicadas en la calle La Unión fueron totalmente destruidas e inhabitables y fueron reubicadas posteriormente. Existen evidencias de posibles reactivaciones (figura 38).



Figura 38. Viviendas ubicadas en la calle La Unión afectadas por deslizamiento.

4.5.2. AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús

Los daños más críticos se han identificado en las viviendas del AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús. Las viviendas registran principalmente agrietamientos y hundimientos en paredes y pisos respectivamente, 05 casas han sido afectadas según reportes de INDECI (figuras 40 y 41).



Figura 40. Vivienda afectada por asentamientos, coordenadas 9447385N y 647788E



Figura 41. Vivienda afectada por cárcavas. Coordenadas 9493022N y 633362E.

4.5.3. Sector Villa Deportiva

Las caídas de rocas resultan del desprendimiento de bloques de rocas muy fracturadas que se activan por escorrentía, los bloques de hasta 1 m de diámetro ocurren con menor frecuencia (figura 39).

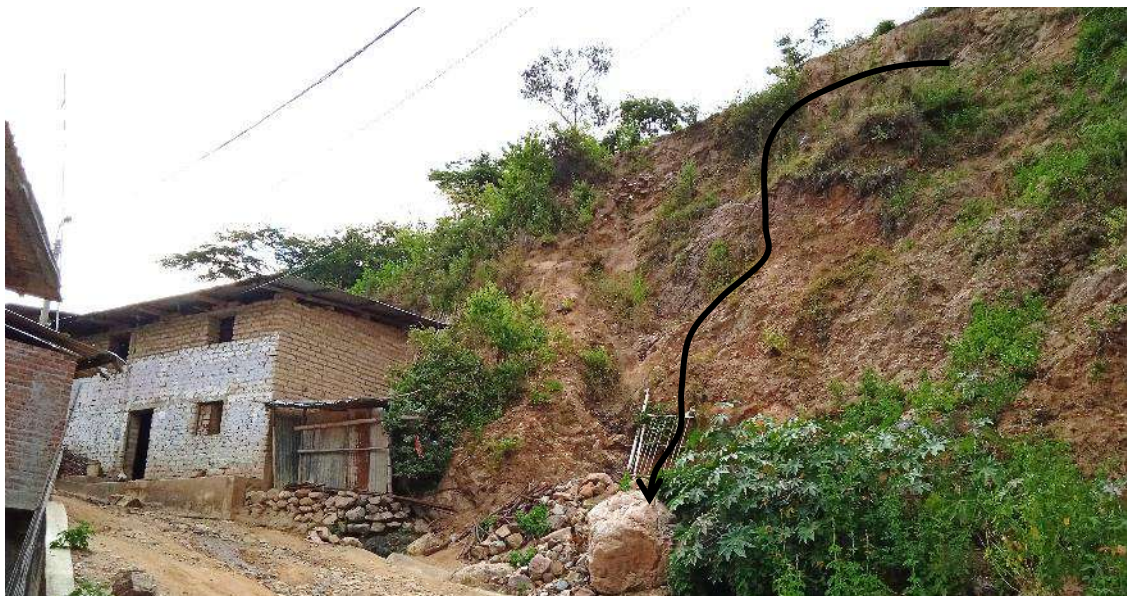


Figura 39. Viviendas afectadas por caídas de rocas.

4.5.4. AA.HH. Ramón Castilla

Los deslizamientos activados durante la temporada de lluvias afectan a más de 10 viviendas ubicadas en la vía Pacaipampa – Ayabaca, las casas tienen grietas en paredes y pisos (figura 42).

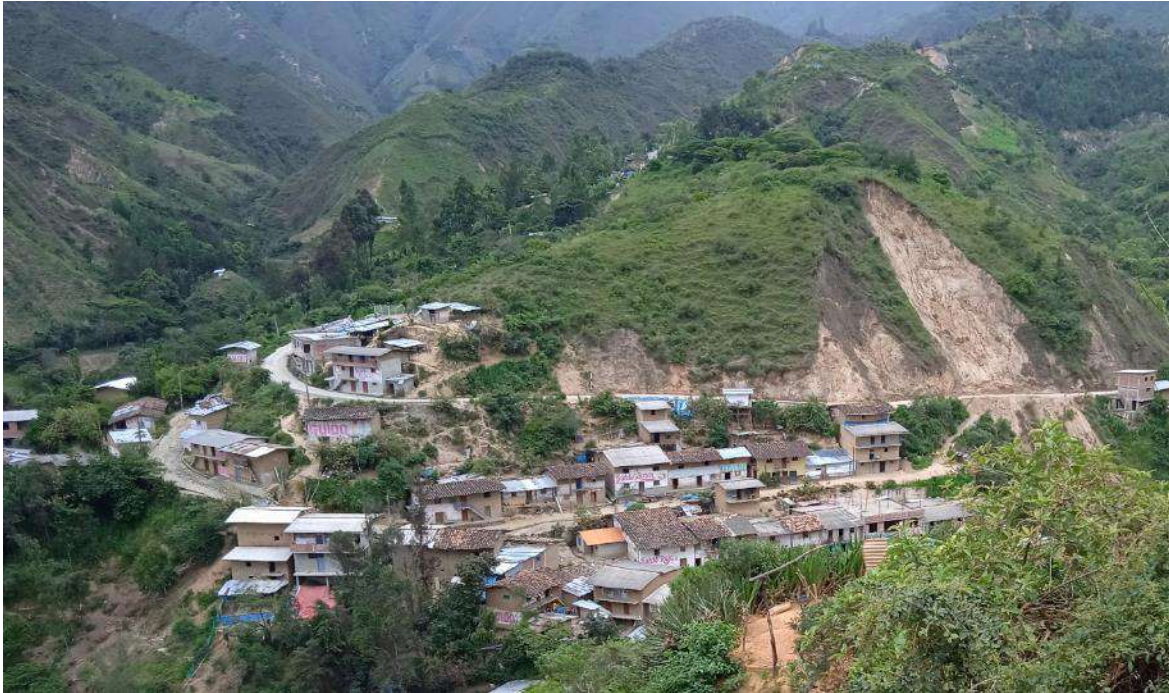


Figura 42. Deslizamientos en la vía Pacaipampa - Ayabaca.

5. CONCLUSIONES

5.1. Área urbana de Pacaipampa

- a) El área urbana de Pacaipampa se asienta sobre depósitos aluviales medianamente compactos constituidos por gravillas, gravas y clastos de cuarcitas soportados en matriz areno limosa.
- b) La ciudad se asienta sobre una vertiente o piedemonte aluvial con pendientes moderadas ($5^\circ - 15^\circ$) limitadas por montañas en rocas metamórficas e ígneas al norte y sur con pendientes fuertes a muy fuertes ($15^\circ - 45^\circ$).
- c) Los flujos de detritos que descienden por las quebradas Pacay Pampa y Portachuelo, transportan bajo volumen de sedimentos, tienen alturas menores a 1 m, sin embargo, erosionan laderas y ambos márgenes de los cauces.
- d) Los deslizamientos se desarrollan en laderas de montañas que rodean al área urbana de Pacaipampa, sin embargo, la reactivación de algún deslizamiento antiguo o reciente puede trasladar gran cantidad de materiales que se emplazarían hasta el centro de la ciudad afectando viviendas e infraestructura. Se han determinado como zonas críticas el sector El Altillo y los AA.HH. Sagrado Corazón y Ramón Castilla.
- e) Por tanto, las quebradas Pacay Pampa y Portachuelo tienen Peligro Medio a alto ante la ocurrencia de flujos de detritos; mientras que, el área urbana de Pacaipampa tiene Peligro Medio ante la ocurrencia de deslizamientos provenientes de los sectores El Altillo, AA.HH. Sagrado Corazón y Ramón Castilla.

5.2. Sector El Altillo

- a) En este sector, afloran granitos muy meteorizados, fracturados y deleznales, este tipo de litología está expuesta a procesos de erosión distribuidos principalmente en la zona sur del área de evaluación.
- b) Las viviendas se ubican en laderas de montañas con fuertes pendientes que condicionan la ocurrencia de deslizamientos detonados por lluvias intensas.
- c) El sector el Altillo tiene un Peligro Alto ante deslizamientos y procesos de erosión que pueden afectar viviendas e infraestructura vital.

5.3. AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús

- a) En el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús afloran granitos intensamente meteorizados, fracturados y deleznales, este tipo de litología está expuesta a procesos de erosión distribuidos principalmente en la zona sur del área de evaluación.
- b) Las viviendas se ubican sobre una montaña en roca intrusiva con pendientes moderadas que limitan con laderas con pendientes fuertes. Ambos factores, la litología de naturaleza deleznable y la pendiente condicionan la ocurrencia de procesos de erosión. Las calles y relieves adyacentes son afectados por cárcavas que afectan a viviendas e infraestructura.
- c) Se considera que, el AA.HH. Sagrado Corazón de Jesús tiene Peligro Alto por cárcavas y la activación de deslizamientos antiguos.

5.4. AA.HH. Villa Deportiva

- a) El sector Villa Deportiva se ubica sobre cuarcitas muy fracturadas e intensamente meteorizadas rodeada de depósitos aluviales. Las capas aluviales tienen alta porosidad, mientras que, los afloramientos de rocas tienen condiciones geomecánicas muy desfavorables, lo que favorece la infiltración del agua que satura los sedimentos.

- b) Las montañas de naturaleza limitan con las viviendas de Villa Deportiva con fuertes pendientes que condicionan la ocurrencia de caída de rocas y deslizamientos.
- c) Se concluye que, el AA.HH. Villa Deportiva presentan peligro Alto ante la ocurrencia de caídas y deslizamientos.

5.5. AA.HH. Ramón Castilla

- a) El área urbana se distribuye sobre granitos intensamente meteorizados, fracturados y deleznales con coberturas aluviales susceptibles a deslizamientos.
- b) Las viviendas se ubican sobre laderas de montañas en roca intrusiva con pendientes moderadas a fuertes.
- c) el AA.HH. Ramón Castilla también presenta deslizamientos que afectan más de 10 viviendas ubicadas próximas a la vía Pacaipampa-Ayabaca.

6. RECOMENDACIONES

6.1. Área urbana de Pacaipampa

- a) Mejorar el drenaje pluvial de las calles que se encuentran en la periferia del centro urbano de Pacaipampa, conduciendo el agua de escorrentía hacia las quebradas circundantes.
- b) Plantear el enrocado del cauce de la quebrada Pacay Pampa y Paltashaco, iniciando con muros de contención de concreto en los cauces de ingreso y salida hacia el área urbana para proteger ambas márgenes que cruzan la ciudad.
- c) Realizar el monitoreo de los deslizamientos antiguos y recientes cartografiados en la periferia del área urbana y que podría afectar el centro de la ciudad.

6.2. El Atillo

- a) Prohibir y restringir la construcción de nuevas viviendas en laderas que no tienen condiciones de cimentación adecuada, los tipos de rocas y la pendiente alta constituyen condicionante ante movimientos en masa.
- b) Reubicar progresivamente las viviendas ya existentes, hacia zonas con estudios adecuados para la expansión urbana. Debe restringirse la construcción de viviendas con más de uno o dos niveles.
- c) Implementar y mejorar el drenaje pluvial a través de la impermeabilización de canales con revestimiento de PVC o tuberías flexibles.
- d) Restringir el uso de suelo para crianza de porcinos, el uso de abundante agua, puede sobresaturar los suelos y perder estabilidad poniendo en riesgo las viviendas.
- e) Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos, para evitar asentamientos de viviendas en zonas de alto peligros a movimientos en masa.

6.3. Sagrado Corazón

- a) Restringir la construcción de nuevas viviendas en laderas de alta pendientes o en zonas de fuerte erosión con presencia de cárcavas.
- b) Prohibir la construcción de viviendas de más de dos o tres niveles hasta hacer los estudios adecuados para la planificar la expansión urbana.
- c) Implementar el drenaje pluvial adecuado a través de la pavimentación de calles o construcción de cunetas y drenes revestidos o impermeabilizados para manejar la escorrentía que se crea en temporada de lluvias.
- d) Sensibilizar a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos, para evitar asentamientos de viviendas en zonas de alto peligros a movimientos en masa.

6.4. Villa Deportiva

- a) Mejorar la estabilidad de taludes y laderas a través de la construcción de banquetas para reducir la pendiente en zonas inestables y expuestas a caídas de rocas o deslizamientos.
- b) Realizar enmallado de laderas, con la finalidad de evitar que el desprendimiento de clastos o bloques lleguen a las viviendas ubicadas cerca de la carretera.
- c) Restringir la construcción de viviendas en los bordes de la carretera Pacaipampa – Tulman, así como la construcción de dos o tres niveles en las viviendas ya existentes.
- d) Mejorar el drenaje en la trocha carrozable realizando el mantenimiento periódico de las cunetas, badenes y canales que conducen el agua hacia las quebradas próximas.

6.5. Ramón Castilla

- a) Construir banquetas para mejorar la estabilidad de laderas con alta pendiente, tomando en cuenta las zonas cartografiadas con procesos de deslizamientos.
- b) Cubrir las laderas con mallas dinámicas con la finalidad de evitar desprendimientos de rocas que puedan afectar viviendas aledañas.
- c) Restringir la construcción de viviendas en zonas inestables, así como la construcción de dos o tres niveles en las viviendas ya existentes.
- d) Mejorar las cunetas, badenes y el drenaje en la trocha carrozable realizando el mantenimiento periódico de las cunetas, badenes y canales que conducen el agua hacia las quebradas próximas.



Segundo A. Núñez Juárez
Jefe de Proyecto-Act. 11



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

7. BIBLIOGRAFÍA

Casalí, J.; López, J.J.; Giráldez, J.V.; 1999. Erosión por cárcavas efímeras en el sur de Navarra (España): Descripción y cuantificación. Ingeniería del Agua, 6(3): 251-258.

<https://www.researchgate.net/publication/39430015_Erosion_por_carcavas_efimeras_en_el_sur_de_Navarra_Espana_descripcion_y_cuantificacion>

Faustino, J.; 1985. CATIE. Proyecto regional de manejo de cuencas. Conservación de suelos. Curso de capacitación. Panamá.

<http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/919/Conservacion_de_suelos.pdf>

González, A. (2021). Evaluación / análisis de sistemas de protección contra detritos. Retrieved 17 May 2021.

<<http://hdl.handle.net/10902/16702>>

Gómez, A.; Schnabel, S.; Lavado, F.; 2011. Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, 55: 59-80.

<<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3606511/1.pdf>>

Jaimes, Concha, Coaquira, Chapillequen (1999). Mapa geológico del cuadrángulo de Ayabaca 10d4. INGEMMET.

<<https://geocatminapp.ingemmet.gob.pe/complementos/Descargas/Mapas/Geologia50/Ordenado/Shapefile/imagenes/10-d4.jpg>>

JICA (2007). Estudio sobre medidas preventivas para desastres en carreteras en la red fundamental de la República de Bolivia informe final: manual de gestión y prevención de desastres en carreteras. Procedimiento V: Obras de Prevención de Desastres, pág. 23.

<<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11866357.pdf>>

JRA (1984). Serie de trabajos de tierra en carreteras. Manual de protección de <taludes.

<http://www.jorgealvahurtado.com/files/Manual%20de%20Proteccion%20de%20Taludes.pdf>>

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.

<<https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/2792;jsessionid=A71A73DD0840FE1598AAFEB5F93E0A6C>>

Reyes, L. & Caldas, J. (1987). Geología de los cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos y Pomahuaca 9-c, 9-d, 10-c, 10-d, 10-e, 11-c, 11-d, 11-e, 12-d y 12-e. INGEMMET, [Boletín A N° 39].

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/159/145/A-039-Boletin-Las_Playas_9c-La_Tina_9d-Las_Lomas_10c-Ayabaca_10d-San_Antonio_10e-Chulucanas....pdf>

Rivera, J.H.; Sinisterra, J.A.; Calle; Z.; 2007. Restauracion ecologica de suelos degradados por erosión en cárcavas en el enclave xerofítico de Dagua, Valle del Cauca, Colombia. Fundación CIVAP.
<<https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2019/06/RESTAURACION-CARCAVA-Dagua.pdf>>

Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN.
<<https://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>>

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.
<[https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1855370](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1855370)>

Vilchez, M., Luque, G. & Rosado, M. (2013) - Estudio de riesgo geológico en la región Piura. INGEMMET, Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 52, 250 p., 9 mapas.
<<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/294>>

Vílchez, Sosa, Jaimes, Mamani, Cerpa, Martínez (2017). Peligros geológicos y geohidrológicos detonados por el Niño Costero 2017 en la región Piura.
<<https://hdl.handle.net/20.500.12544/1022>>

Villota, H., & Instituto Geográfico "Agustín Codazzi.". (2005). *Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras*. Bogotá D.C: Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC (Departamento Nacional de Estadística).
<<https://searchworks.stanford.edu/view/6532331>>

WP/WLI, 1990, A suggested method for reporting a landslide: Bulletin of the International Association of engineering Geology, no. 41, p. 5–12.
<https://www.researchgate.net/publication/290438810_A_suggested_method_for_reporting_a_landslide>

ANEXO 1: MAPAS Y PERFILES

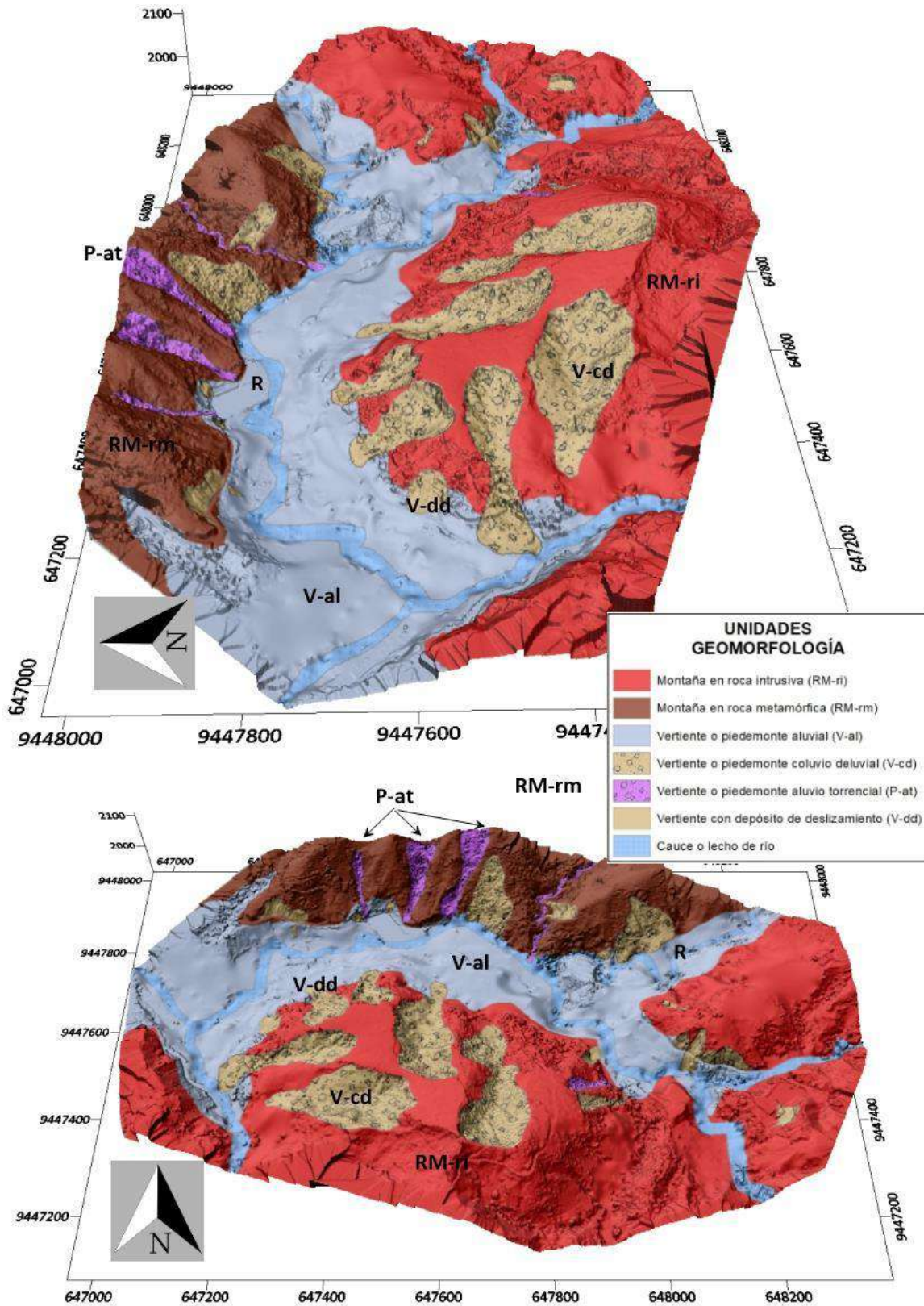


Figura 43. Mapa de unidades geomorfológicas en el área urbana de Pacaipampa.

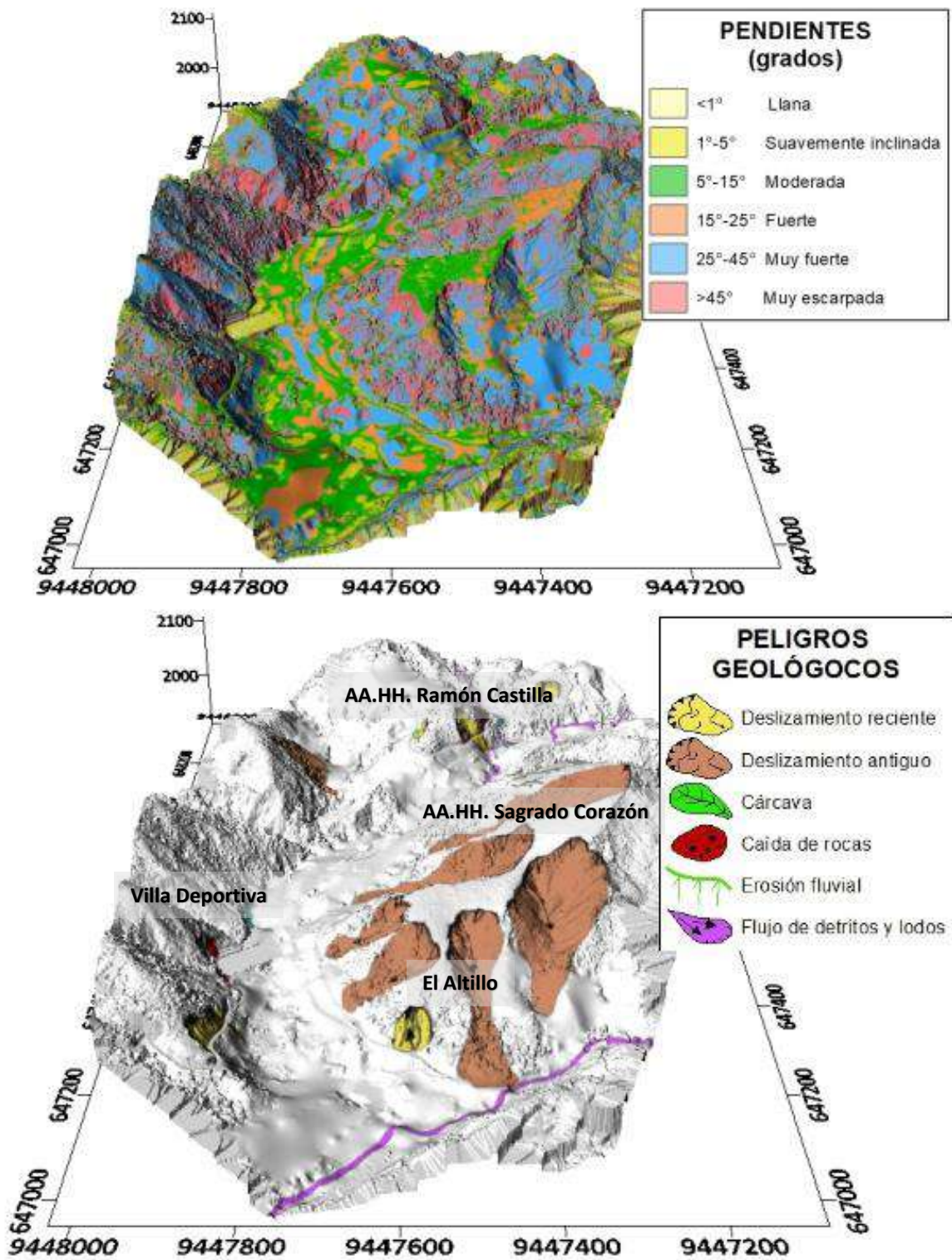


Figura 44. Mapa de pendientes y peligros geológicos.

ANEXO 2: GLOSARIO

Deslizamiento

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 45).

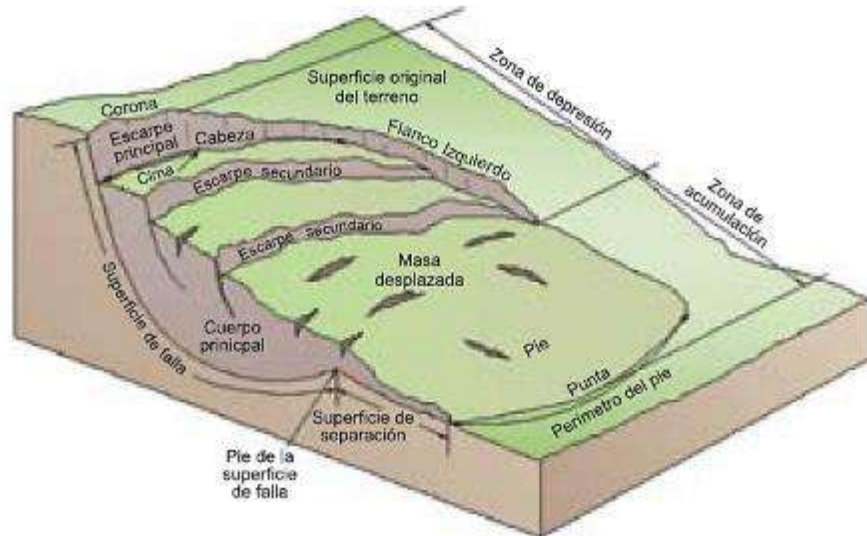


Figura 45. Diagrama de bloque de un deslizamiento (WP/WLI, 1990).

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 (Gómez et al., 2011).

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 (Faustino, 1985; Rivera et al., 2007; Casalí et al., 1999).

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 39).

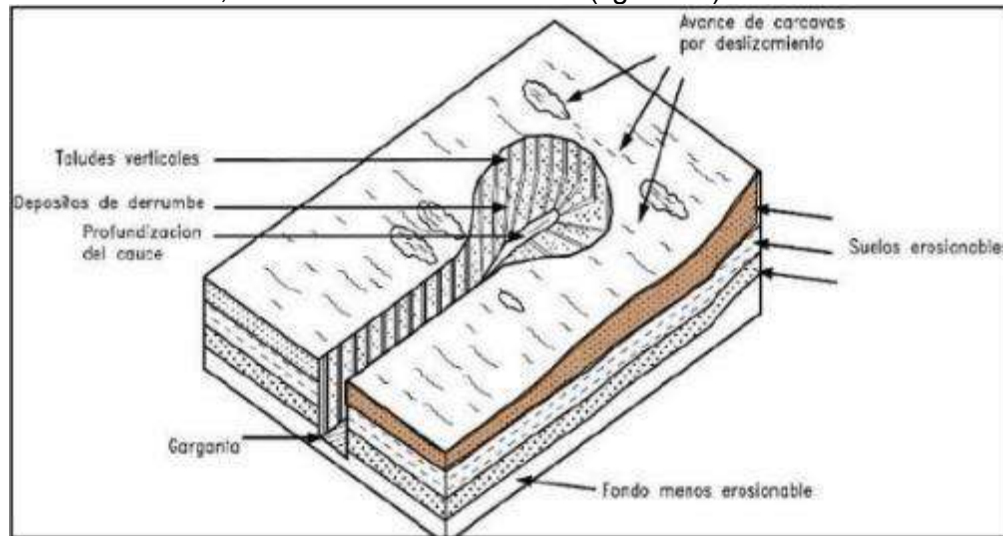


Figura 46. Esquema general de una cárcava. Tomado de Suárez (1998).

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 47). 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.

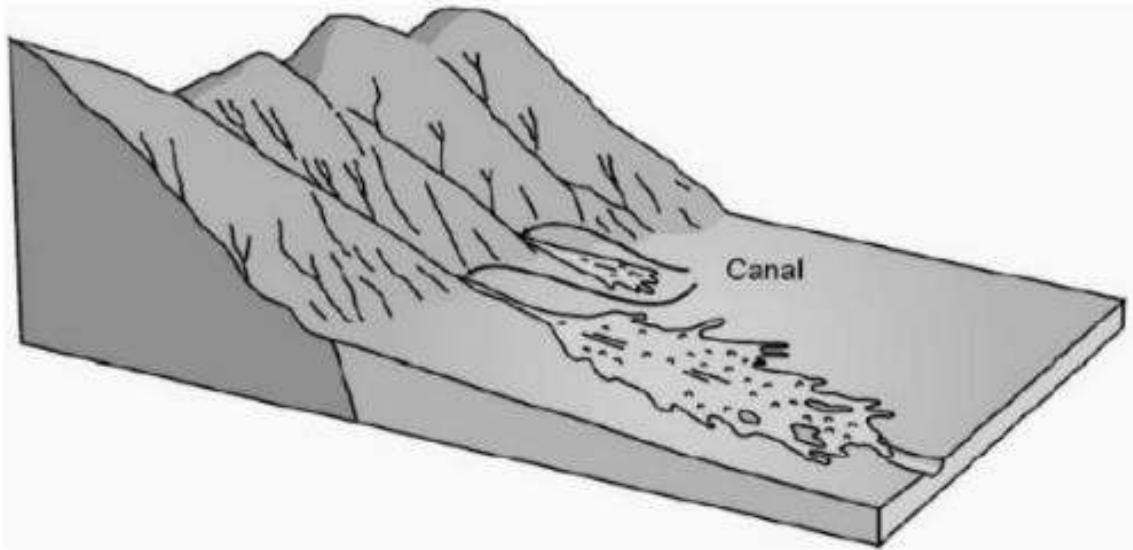


Figura 47. Esquema de un flujo canalizado (Cruden y Varnes, 1996).

Caída

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. El estudio de casos históricos ha mostrado que las velocidades alcanzadas por las caídas de rocas pueden exceder los 100 m/s.

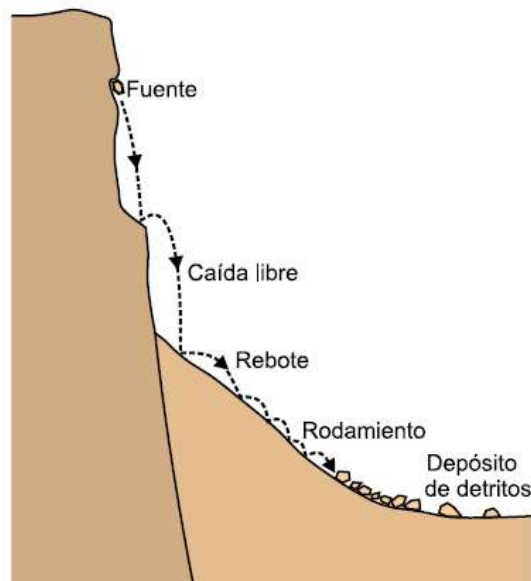


Figura 48. Esquema de la caída de rocas (Varnes, 1978).

ANEXO 3: ALTERNATIVAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

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 (JRA, 1984).

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 49).

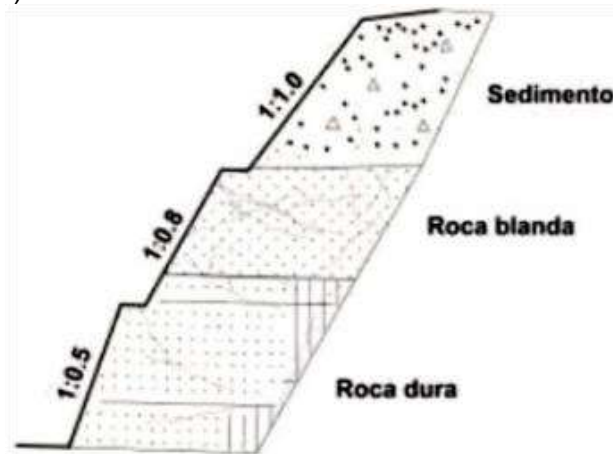


Figura 49. Condiciones de terreno y forma de taludes (JICA, 2007).

Uso de vegetación

El efecto de la vegetación sobre la estabilidad de los taludes es muy debatido; el estado del uso actual deja muchas dudas e inquietudes y la cuantificación de los efectos de estabilización de las plantas sobre el suelo, no ha tenido una explicación universalmente aceptada. Sin embargo, la experiencia ha demostrado el efecto positivo de la vegetación, para evitar problemas de erosión, reptación y fallas subsuperficiales (J. Suárez Díaz, 1998). Para poder analizar los fenómenos del efecto de la vegetación sobre el suelo se requiere investigar las características específicas de la vegetación en el ambiente natural que se esté estudiando. Entre los factores se sugiere analizar los siguientes:

- Volumen y densidad de follaje, tamaño, ángulo de inclinación y aspereza de las hojas, altura total de la cobertura vegetal, presencia de varias capas diferentes de cobertura vegetal, tipo, forma, profundidad, diámetro, densidad, cubrimiento y resistencia del sistema de raíces.
- El tipo de vegetación, tanto en el talud como en el área arriba del talud es un parámetro importante para su estabilidad. La vegetación cumple dos funciones principales: En primer lugar, tiende a determinar el contenido de agua en la superficie y, además, da consistencia por el entramado mecánico de sus raíces.

- Como controlador de infiltraciones tiene un efecto directo sobre el régimen de aguas subterráneas y actúa posteriormente como secador del suelo al tomar el agua que requiere para vivir.

Factores que aumentan la estabilidad del talud:

1. Intercepta la lluvia
2. Aumenta la capacidad de infiltración
3. Extrae la humedad del suelo
5. Las raíces refuerzan el suelo, aumentando la resistencia al esfuerzo cortante
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos
7. Aumentan el peso sobre el talud
8. Trasmiten al suelo la fuerza del viento
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo la susceptibilidad a la erosión

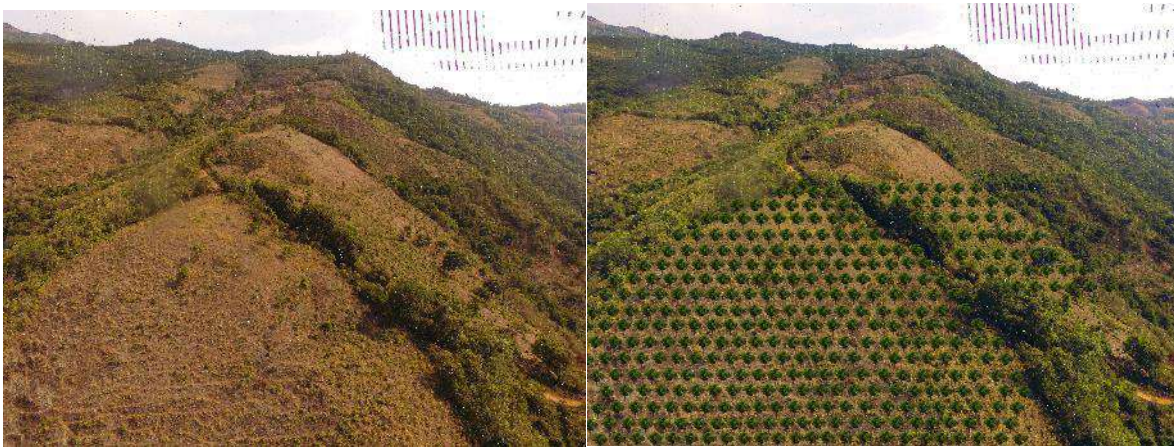


Figura 50. Ladera con evidencias de deslizamientos que deben reforestarse.

Disipadores de energía

Medidas rígidas

Los principales tipos de obras de control y retención de sedimentos convencionales, que conllevan la construcción de estructuras hidráulicas son dos:

Diques de hormigón o mampostería hidráulica.

Diques de gravedad y planta recta, que pueden ser de mampostería de cemento u hormigón en masa de densidades comprendidas entre los 2,3 ton/m³ y 2,4 t/m³. Tienen alturas menores de 15 m y se diseñan para que la estructura sea satisfactoria, tanto desde el punto de vista estructural como desde el punto de vista económico. Consta de un cuerpo central, normalmente en forma de trapecio y un talud vertical aguas arriba e inclinado aguas abajo. Se le superponen dos coronaciones a ambos lados y un rectángulo en la base. Se instalan elementos de drenaje para disipar la presión hidrostática en caso de saturación del terreno (figura 51).



Figura 51. Dique de mampostería.

Diques de gaviones.

Este tipo de diques se calculan imponiendo condiciones de no deslizamiento y ausencia de tracciones en el cuerpo de la obra. El perfil de menor volumen es el triangular con paramento vertical agua arriba. Conviene que el paramento de aguas arriba esté inclinado, puesto que la existencia de huecos hace que el empuje vertical del agua sobre este paramento sea menor. Es común la disposición escalonada de la parte de aguas abajo, siendo el ancho común de los escalones un metro. Los escalones concatenan impactos del flujo sobre los siguientes escalones, provocando daños en la estructura cuando el caudal de descarga arrastra gruesos, a pesar de estar protegida la huella, con mortero de cemento. Cuando se prevea que estos caudales son altamente probables, es conveniente utilizar otro tipo de diseño, con escalones de anchuras inferiores a 0,5 metros, lo que ayuda a disminuir el golpeo del agua y los posibles arrastres del paramento de aguas abajo (figura 52).



Figura 52. Dique de gaviones.

Muros de contención

El propósito de una estructura de contención es el resistir las fuerzas ejercidas por la tierra contenida, y transmitir esas fuerzas en forma segura a la fundación o a un sitio por fuera de la masa analizada de movimiento. En el caso de un deslizamiento de tierra el muro ejerce una fuerza para contener la masa inestable y transmite esa fuerza hacia una cimentación o zona de anclaje por fuera de la masa susceptible de moverse. Las deformaciones excesivas o movimientos de la estructura de contención o del suelo a su alrededor deben evitarse para garantizar su estabilidad (Díaz, 1998).

Tipos de Estructura

Existen varios tipos generales de estructura, y cada una de ellas tiene un sistema diferente de transmitir las cargas (figura 53).

Muros masivos rígidos

Son estructuras rígidas, generalmente de concreto, las cuales no permiten deformaciones importantes sin romperse. Se apoyan sobre suelos competentes para transmitir fuerzas de su cimentación al cuerpo del muro y de esta forma generar fuerzas de contención.

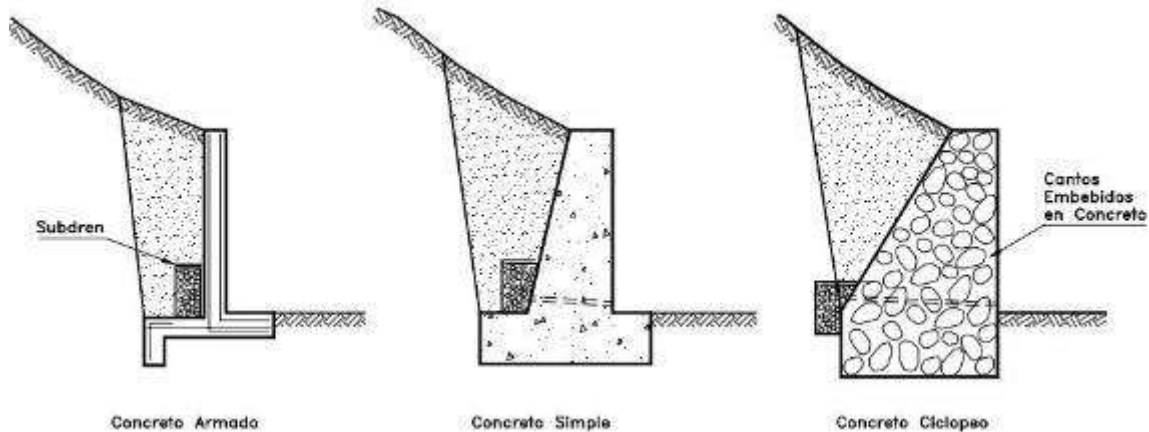


Figura 53. Esquema de muros rígidos (Díaz, 1998).

Ventajas y desventajas de los diversos tipos de muro rígido

Muro	Ventajas	Desventajas
Reforzado	Los muros de concreto armado pueden emplearse en alturas grandes (superiores a diez metros), previo su diseño estructural y estabilidad. Se utilizan métodos convencionales de construcción, en los cuales la mayoría de los maestros de construcción tienen experiencia.	Requieren de buen piso de cimentación. Son antieconómicos en alturas muy grandes y requieren de formaletas especiales. Su poco peso los hace inefectivos en muchos casos de estabilización de deslizamientos de masas grandes de suelo.
Concreto simple	Relativamente simples de construir y mantener, pueden construirse en curvas y en diferentes formas para propósitos arquitectónicos y pueden colocarse enchanes para su apariencia exterior.	Se requiere una muy buena fundación y no permite deformaciones importantes, se necesitan cantidades grandes de concreto y un tiempo de curado antes de que puedan trabajar.
Concreto ciclópeo	Similares a los de concreto simple. Utilizan bloques o cantos de roca como material embebido, disminuyendo los volúmenes de concreto.	El concreto ciclópeo (cantos de roca y concreto) no puede soportar esfuerzos de flexión grandes.