

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7142

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS EN EL CENTRO POBLADO PUERTO MANOA

Región Puno
Provincia Carabaya
Distrito San Gabán



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

Equipo de investigación:

Hugo D. Gómez Velásquez

Ely M. Ccorimanya Chalco

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2021). Evaluación de peligros geológicos en el centro poblado Puerto Manoa. Distrito de San Gabán, provincia Carabaya, región Puno: Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7142, 47p.

INDICE

| | |
|---|----|
| 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 | 6 |
| 1.3.2. Accesibilidad | 8 |
| 1.3.3. Clima | 8 |
| 2. ASPECTOS GEOLÓGICOS | 8 |
| 2.1. Unidades litoestratigráficas | 8 |
| 2.1.1. Formación Sandía (Os-s) | 9 |
| 2.1.2. Depósito aluvial (Qh – al) | 10 |
| 2.1.3. Depósito coluvial (Qh-cl) | 10 |
| 2.1.4. Depósito fluvial (Qh-fl) | 11 |
| 2.1.5. Depósito antropogénico (Qr-an) | 12 |
| 3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS | 15 |
| 3.1. Pendientes del terreno | 15 |
| 3.2. Unidades geomorfológicas | 17 |
| 3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional | 17 |
| 3.2.2. Geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional | 18 |
| 4. PELIGROS GEOLÓGICOS | 22 |
| 4.1. Peligros geológicos por movimientos en masa | 22 |
| 4.1.1. Deslizamiento en el barrio Puente (Centro poblado Puerto Manoa) | 22 |
| 4.1.2. Deslizamiento en el kilómetro 306 + 000 - Vía interoceánica | 26 |
| 4.1.3. Deslizamiento en el Barrio Interoceánica | 28 |
| 4.1.4. Derrumbes en el Barrio Puente (Centro poblado Puerto Manoa) | 29 |
| 4.2. Factores condicionantes | 35 |
| 4.3. Factores desencadenantes | 35 |
| 4.4. Daños por peligros geológicos | 35 |

| | |
|--|----|
| 4.5. Peligro geohidrológico | 36 |
| 4.5.1. Inundación en el Barrio La Playa | 36 |
| 4.5.2. Erosión fluvial | 38 |
| 5. CARACTERIZACIÓN DE AREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN | 38 |
| 5.1. Área denominada como margen derecha / zona propuesta 1 | 38 |
| 5.2. Área denominada como Vista Alegre / zona propuesta 2 | 39 |
| 5.3. Selección de Área para Reubicación | 41 |
| 6. CONCLUSIONES | 42 |
| 7. RECOMENDACIONES | 43 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 44 |
| ANEXO 1: GLOSARIO | 45 |
| ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN | 47 |

RESUMEN

El presente informe técnico, es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa realizado en el centro poblado Puerto Manoa, que pertenece a la jurisdicción de la Municipalidad distrital de San Gabán, provincia Carabaya, región Puno.

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 actualización, confiable, oportuna y accesible en geología en los tres niveles de gobierno (distrital, regional y nacional).

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona evaluada corresponden a rocas de origen metamórfico de la Formación Sandia conformada por areniscas cuarzosas de grano fino a medio con intercalaciones de arcillitas compactas; pizarras, limolitas y cuarcitas ligeramente meteorizadas y muy fracturadas. Los peligros geológicos identificados en el área de evaluación se desarrollan principalmente en material coluvial, compuestos por bloques de formas subredondeados a subangulosos envuelta en una matriz limo arcillosa distribuidos de forma caótica; presentan poca compactación, muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

La geomorfología de las zonas de evaluación está dominada por geoformas de origen tectónico-degradacional (ladera de montaña en roca metamórfica y lomada en roca sedimentaria) y geoformas de carácter depositacional y agradacional (vertiente con depósitos de deslizamiento, vertiente o piedemonte coluvial y terraza aluvial; también, se incluye a las acumulaciones de depósitos antropogénicos). Se considera como principales factores condicionantes que originan la ocurrencia de derrumbes es el talud con pendiente escarpada (48°), substrato rocoso muy fracturado, ello permite mayor infiltración y retención de agua de lluvia al terreno; suelos inconsolidados (depósitos coluviales y antrópicos), de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas. Además, se considera como el factor desencadenante de los derrumbes y deslizamiento, las lluvias intensas, erosión fluvial en la base de talud y movimiento sísmico.

Los peligros geológicos identificados en la zona del centro poblado Puerto Manoa (barrios Puente, La Playa, interoceánica Interoceánica y la vía interoceánica sur: tramo de carretera Km 306 + 000 al Km 306 + 065), corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento y derrumbes; también, se identificó ocurrencias de peligros geohidrológicos como inundación y erosión fluvial. Estos procesos geológicos han afectado 100 m de carretera asfaltada y 06 viviendas.

Se recomienda reubicar temporalmente a la población asentada en los barrios Puente y La Playa a los sectores denominado como margen derecho o al sector Vista Alegre (coordenadas UTM: 357044, 8518865 y 355303, 8519905 respectivamente); posteriormente realizar estudios de riesgos (EVAR), que determinen el reasentamiento definitivo.

Se concluye que el área de evaluación se encuentra en peligro **Muy Alto** a la ocurrencia de movimientos en masa como deslizamientos y derrumbes generados principalmente por la

erosión fluvial; además, estos eventos, pueden ser desencadenados por lluvias intensas y/o extraordinarias (diciembre a marzo) o por movimientos sísmicos. Asimismo, parte del área evaluada es susceptible a la inundación fluvial.

Finalmente, se brinda recomendaciones generales que se consideran importantes para que las autoridades competentes pongan en práctica en el centro poblado Puerto Manoa como son: la reubicación de las viviendas asentadas dentro del cuerpo del deslizamiento y de los sectores aledaños a los derrumbes e inundación, no hacer uso de la antigua vía de acceso Interoceánica sur por encontrarse sobre una zona inestable, construir zanjas de coronación, sistemas de alcantarillado o cunetas en el tramo de la vía Interoceánica sur en el Km 306 + 000 y el tramo ubicado en el barrio Interoceánica.

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 en zonas que tengan elementos vulnerables.

Atendiendo la solicitud del Gobierno Regional de Puno, según Oficio N° 155-2021-GR PUNO/GR, es en el marco de nuestras competencias que se realizó una evaluación de los eventos de tipo deslizamiento y derrumbes en el Barrio Puente que afectó 6 viviendas y 100m de tramo de la antigua vía interoceánica, inundación en el Barrio La Playa que afectó un total de 11 viviendas ocurridos debido a las intensas lluvias de los días 18 y 19 de enero del 2021.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los especialistas en evaluación de peligros geológicos, ingeniero geólogo Dulio Gómez Velásquez y a la geóloga Ely Ccorimanya Chalco.

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 del Gobierno Regional de Puno 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 de desastres, 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) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos por movimientos en masa ocurridos en el centro poblado Puerto Manoa: barrios Puente, La Playa, Interoceánica y la vía interoceánica sur: tramo de carretera Km 306 + 000 al Km 306 + 065. Además, evaluar los peligros geohidrológicos de tipo inundación y erosión fluvial.
- b) Determinar los factores condicionantes y factor detonante que influyen en la ocurrencia de los diferentes peligros identificados.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos y geohidrológicos evaluados en trabajos de campo.

1.2. Antecedentes y trabajos anteriores

Existen trabajos previos y publicaciones del Ingemmet, que incluye el centro poblado Puerto Manoa, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, de los cuales destacan los siguientes:

- A) Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la región Puno” (Gómez y Pari, 2020) indican que dentro de la región Puno que la ocurrencia de peligros geológicos con mayor frecuencia son los de tipo flujos de detritos (huaicos), caída de rocas, deslizamientos, movimientos complejos y reptación de suelos, así como también peligros geohidrológicos y otros peligros geológicos.
El mapa de susceptibilidad se elaboró utilizando el método de ponderación de factores, denominado también método heurístico, indirecto - cualitativo. De esta forma, se efectuó para la zona una estimación de la susceptibilidad a los movimientos en masa representada en cinco categorías: muy baja susceptibilidad, baja susceptibilidad, moderada susceptibilidad, alta susceptibilidad y muy alta susceptibilidad, este mapa fue elaborado a escala 1: 400 000 (Figura 1), donde el centro poblado Puerto Manoa presenta alta a muy alta susceptibilidad a movimientos en masa.
- B) Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3” (Fidel et al., 2003); identificaron los peligros geológicos naturales y antropogénicos que afectan y han afectado, del mismo modo efectuaron la zonificación de riesgo geológico preliminar, para la seguridad física de las poblaciones y obras de infraestructura. Mencionan sectores propensos a derrumbes, flujos de detritos en el distrito de San Gabán, esto muestra la susceptibilidad a movimientos en masa por el tipo de litología y pendiente del sector Puerto Manoa.
- C) En la “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de 21 cuadrángulos del Llano Amazónico Hojas 25-r, 5-s, 25-t, 25-u, 25-v, 25-x, 25-y, 25-z, 26-t, 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 26-z, 27-v, 27-x, 27-y, 28-z, 28-y, 28-x (Ingemmet., Sánchez 2003); describe la información relacionada a los cambios más resaltantes sobre estratigrafía y la geología estructural del área de dichos cuadrángulos, describe que en el sector Puerto Manoa litoestratigráficamente aflora la Formación Sandia constituida por pizarras negras, intercaladas con areniscas cuarzosas de grano fino a media.
- D) Boletín N°81, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Rambopata; Hojas 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 27-u, 27-v, 27-x, 27-y” (Palacios et al., 1996); describe los resultados del estudio geológico realizado del mismo modo la descripción geomorfológica a una escala de 1:100000. Indica que en el sector Puerto Manoa aflora la formación Sandia de edad ordovícico compuesto por areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas laminadas, pizarrosas, regionalmente la unidad geomorfológica en la que se encuentra la zona de estudio corresponde a Flanco Subandino (Pre- Cordillera).

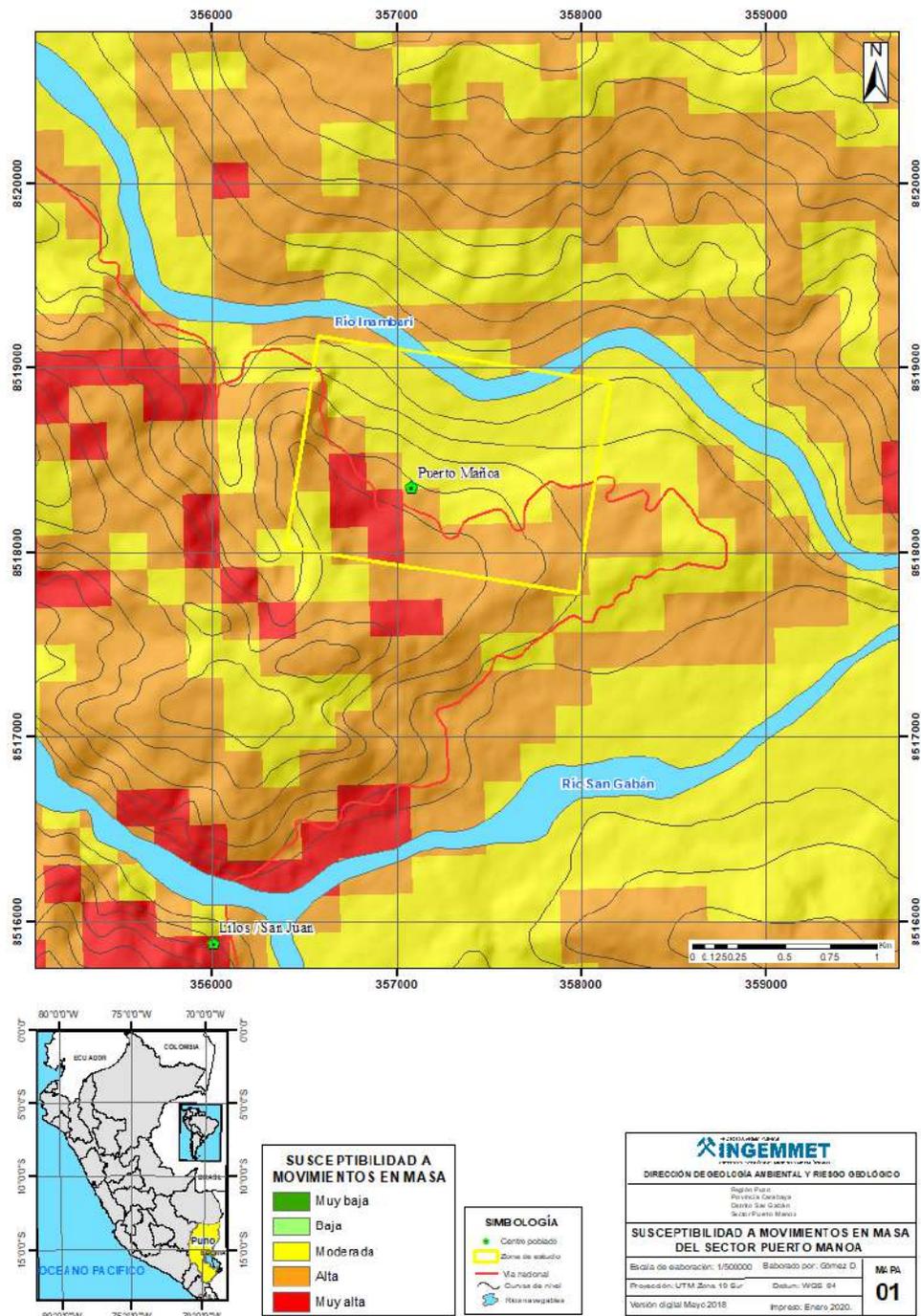


Figura 1. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del sector Puerto Manoa y alrededores (Gómez y Pari, 2020).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área evaluada situada a una altitud de 610 m s.n.m, corresponde al centro poblado Puerto Manoa (barrios Puente, La Playa, interoceánica Interoceánica y la vía interoceánica sur: tramo de carretera Km 306 + 000 al Km 306 + 065); pertenece al distrito de San Gabán, provincia Carabaya, región Puno (Figura 2), en las coordenadas UTM (WGS84 – Zona 19S) siguientes:

Cuadro 1. Coordenadas del área de estudio.

| N° | UTM - WGS84 - Zona 19L | | Geográficas | |
|--|------------------------|------------|-------------|----------|
| | Este | Norte | Latitud | Longitud |
| 1 | 356395.70 | 8518033.10 | -13.40° | -70.33° |
| 2 | 356576.51 | 8519167.22 | -13.39° | -70.32° |
| 3 | 358154.41 | 8518917.38 | -13.40° | -70.31° |
| 4 | 357976.89 | 8517793.13 | -13.40° | -70.31° |
| COORDENADA CENTRAL DE LA ZONA EVALUADA O EVENTO PRINCIPAL | | | | |
| C | 356735 | 8518596 | -13.40° | -70.32° |

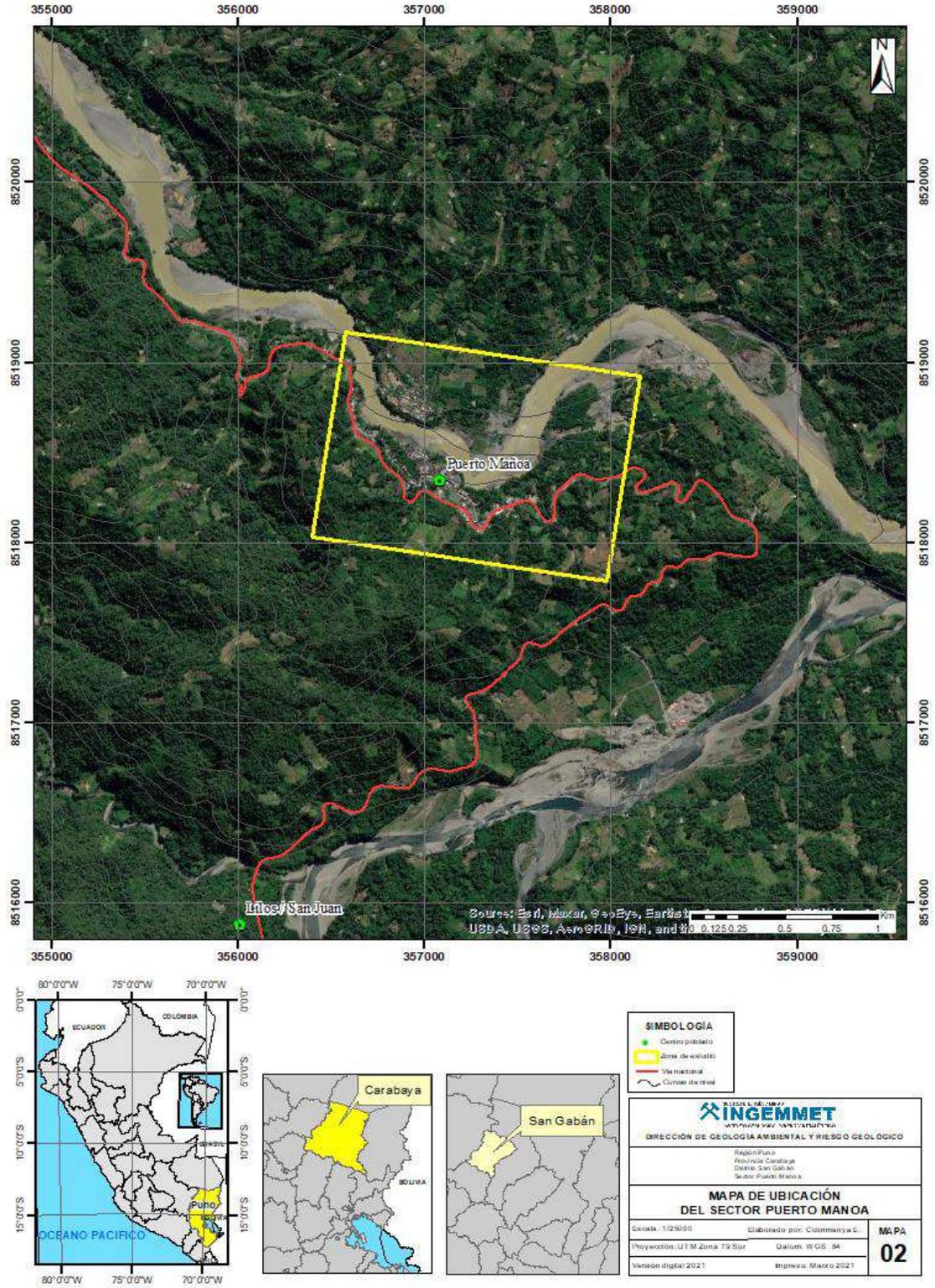


Figura 2. Mapa de ubicación del centro poblado Puerto Manoa.

1.3.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio fue por vía aérea desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Cusco; luego, desde la ciudad de Cusco se traslada vía terrestre (Interoceánica del Sur) hasta la ciudad San Gabán, de ahí se continua hasta Puerto Manoa. ver cuadro 2 donde se detalla la ruta a seguir:

Cuadro 2. Rutas y accesos a la zona evaluada.

| <i>Ruta</i> | <i>Tipo de vía</i> | <i>Distancia (km)</i> | <i>Tiempo estimado</i> |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| Lima – Cusco | Aérea | 1102.1 | 1 hora,20 minutos |
| Cusco – San Gabán | Asfaltada | 372.7 | 8 horas |
| San Gabán – Puerto Manoa | Asfaltada | 30.4 | 40 minutos |
| | | | |

1.3.3. Clima

San Gabán cuenta con un clima tropical, con gran precipitación que bordea los 524 mm al año y con una temperatura media anual de 23,3°C. Los meses más lluviosos corresponden a octubre hasta abril, con un promedio mensual de 563 mm; en tanto los meses lluviosos va de mayo a setiembre con un promedio de 256 mm de precipitación (Ccahuana. E., 2019).

Según la clasificación climática de Thornthaithe (SENAMHI, 2020), el área de estudio Puerto Manoa y alrededores se encuentra influenciada dentro del clima Muy Lluvioso que corresponde a selva, con abundante humedad en todos los meses del año que corresponde a un ambiente templado.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

El análisis geológico del área de estudio se realizó teniendo como base la Memoria descriptiva de la revisión y actualización de 21 cuadrángulos del Llano Amazónico a escala 1:100000 (Sánchez, 2003), donde se tienen principalmente afloramiento de la Formación Sandia y depósitos Cuaternarios. La geología se complementó con trabajos de interpretación de imágenes satelitales, fotos aéreas y observaciones de campo (figura 4).

2.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en la zona inspeccionada son de origen metamórfico. Además, localmente se han identificado depósitos coluviales, aluviales, fluviales y antropogénicos.

2.1.1. Formación Sandia (Os-s)

Aflora en la zona de evaluación. Litológicamente está conformada por metareniscas, cuarcitas y pizarras. En la margen izquierda del río Inambari, el sustrato rocoso está conformado principalmente por metareniscas de grano fino a medio dispuestos con un buzamiento de 20°SW (Figura 3) intercaladas con delgadas capas de pizarras y cuarcitas, los mismos que se encuentran meteorizadas y muy fracturadas (Fotografía 1).



Figura 3. Afloramiento de la Formación Sandia compuesto por una potente capa de metareniscas y pizarra muy fracturadas ubicado en la margen izquierda del río Inambari, barrio Puente.



Fotografía 1. En la quebrada Castilla ubicado en el barrio La Playa se observa el afloramiento de pizarra muy fracturada y saturada (material de coloración negra), cubierto por depósito coluvial.

2.1.2. Depósito aluvial (Qh – al)

Corresponde a depósitos poco consolidados compuesto por bolos, cantos redondeados, capas de gravas gruesas y finas bien clasificadas ubicados en las zonas de depositación del río Inambari. Este depósito se encuentra alrededores de la zona de trabajo formando terrazas.

2.1.3. Depósito coluvial (Qh-cl)

Corresponde a depósito poco consolidado compuesto por clastos heterogéneos y heterométricos, está conformado por areniscas cuarzosas, pizarras y cuarcitas cuya angulosidad varía de subredondeados a subangulosos envuelta en una matriz limo arcillosa distribuidos de forma caótica; presentan poca compactación y muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua. Generalmente se generaron por los materiales arrastrados pendiente abajo, derrumbes y los deslizamientos que ocurrieron en la zona (Fotografía 2).



Fotografía 2. Depósito coluvial, ubicados dentro del cuerpo del deslizamiento, ubicado en la margen izquierda del río Inambari, barrio Puente.

2.1.4. Depósito fluvial (Qh-fl)

Litológicamente está compuesta por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.), los cuales son transportados por la corriente del río Inambari desde grandes distancias (Fotografía 3).



Fotografía 3. Depósito fluvial conformada por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos gravas, arenas, etc.) conforman la llanura de inundación.

2.1.5. Depósito antropogénico (Qr-an)

Los depósitos de origen antropogénico son abundantes en la zona de estudio, está compuesto por materiales utilizados en la construcción de obras civiles que son arrojados como desmonte..

Corresponde a un depósito de permeabilidad alta, dado su carácter gravoso con pocos finos, esto hace que el nivel freático sea por niveles inferiores a este depósito (Fotografía 4).



Fotografía 4. Depósito antropogénico compuesto por material usado en la construcción de obras civiles, ubicado en la margen izquierda del río Inambari, barrio Puente.

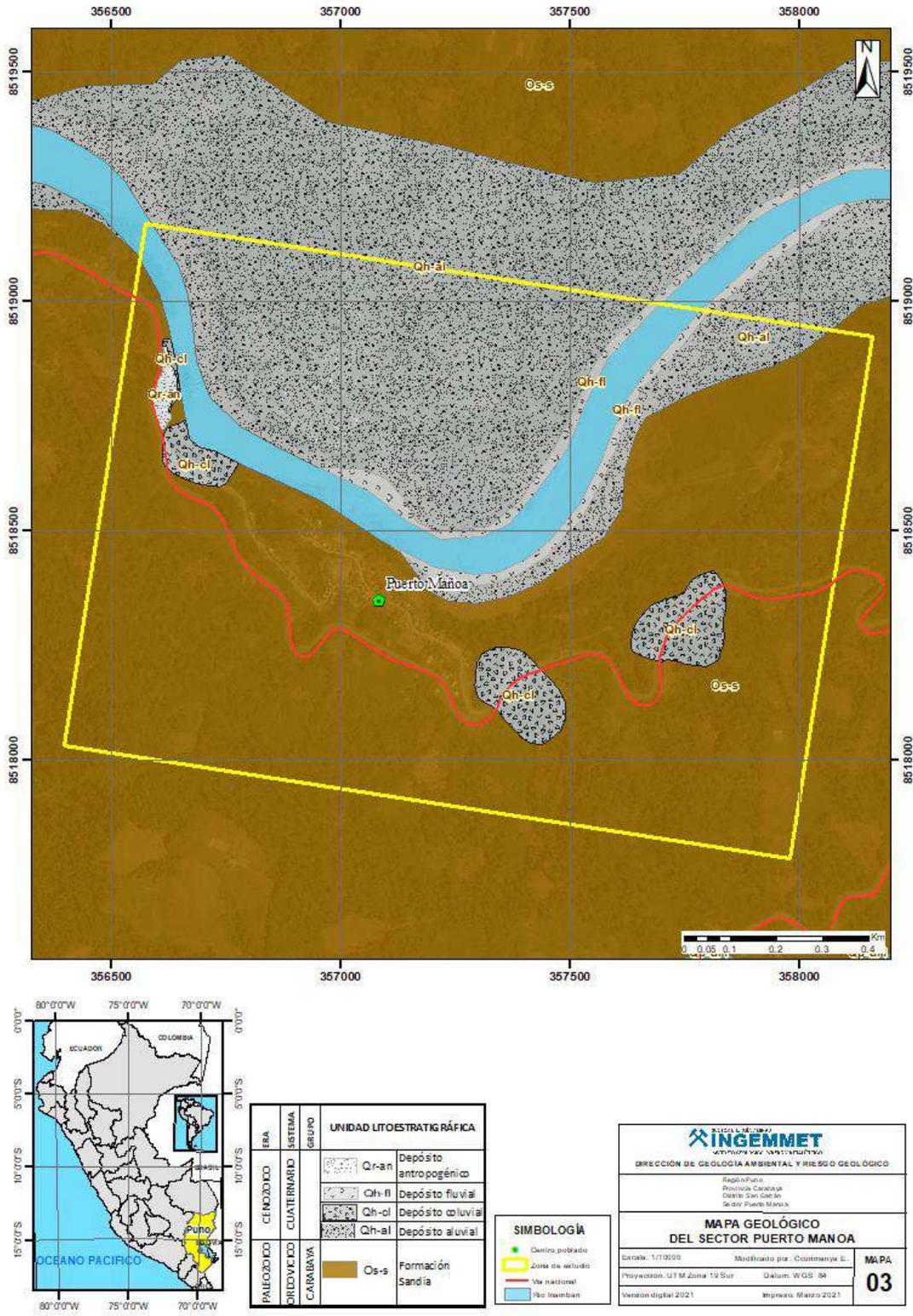


Figura 4. Mapa geológico del sector Puerto Manoa y alrededores.

3. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

3.1. Pendientes del terreno

La pendiente, es uno de los principales factores dinámicos y particularmente de los movimientos en masa (formadores de las geoformas de carácter deposicional o agradacional), ya que determinan la cantidad de energía cinética y potencial de una masa inestable (Sánchez, 2002); por lo cual es un parámetro importante en la evaluación de procesos de movimientos en masa, que actúa como factor condicionante y dinámico en la generación de movimientos en masa.

En la figura 6, se presenta el mapa de pendientes, elaborado en base a la información del modelo de elevación digital 12.5 m de resolución (USGS).

La clasificación de los rangos utilizados en el mapa de pendientes es la siguiente (Figura 5):

| Color | Rango de pendiente en grados | Superficie Topográfica |
|-------|------------------------------|---------------------------------------|
| | 0° - 1° | Terreno llano |
| | 1° - 5° | Terreno inclinado con pendiente suave |
| | 5° - 15° | Pendiente moderada |
| | 15° - 25° | Pendiente fuerte |
| | 25° - 45° | Pendiente muy fuerte o escarpada |
| | >45° | terreno muy escarpado |

Figura 5. Rango de pendiente de terrenos utilizado en el mapa de pendientes.

Los rangos de pendiente en la zona inspeccionada y alrededores van desde terrenos de inclinación suave (1° - 5°) a terrenos muy escarpado (> 45°) en cuanto corresponde a lugares puntuales de evaluación estas se encuentran en terrenos de pendiente fuerte (15° - 25°) a terrenos de pendiente muy fuertes (25° - 45°), específicamente el deslizamiento se desarrolla en este rango de pendientes. Con respecto a los derrumbes ocurridos en la zona de estudio se desencadenaron sobre terrenos con pendientes que varían de 23° a 49°, lo que facilita el escurrimiento superficial del agua de precipitación pluvial y el arrastre del material disponible en la ladera.

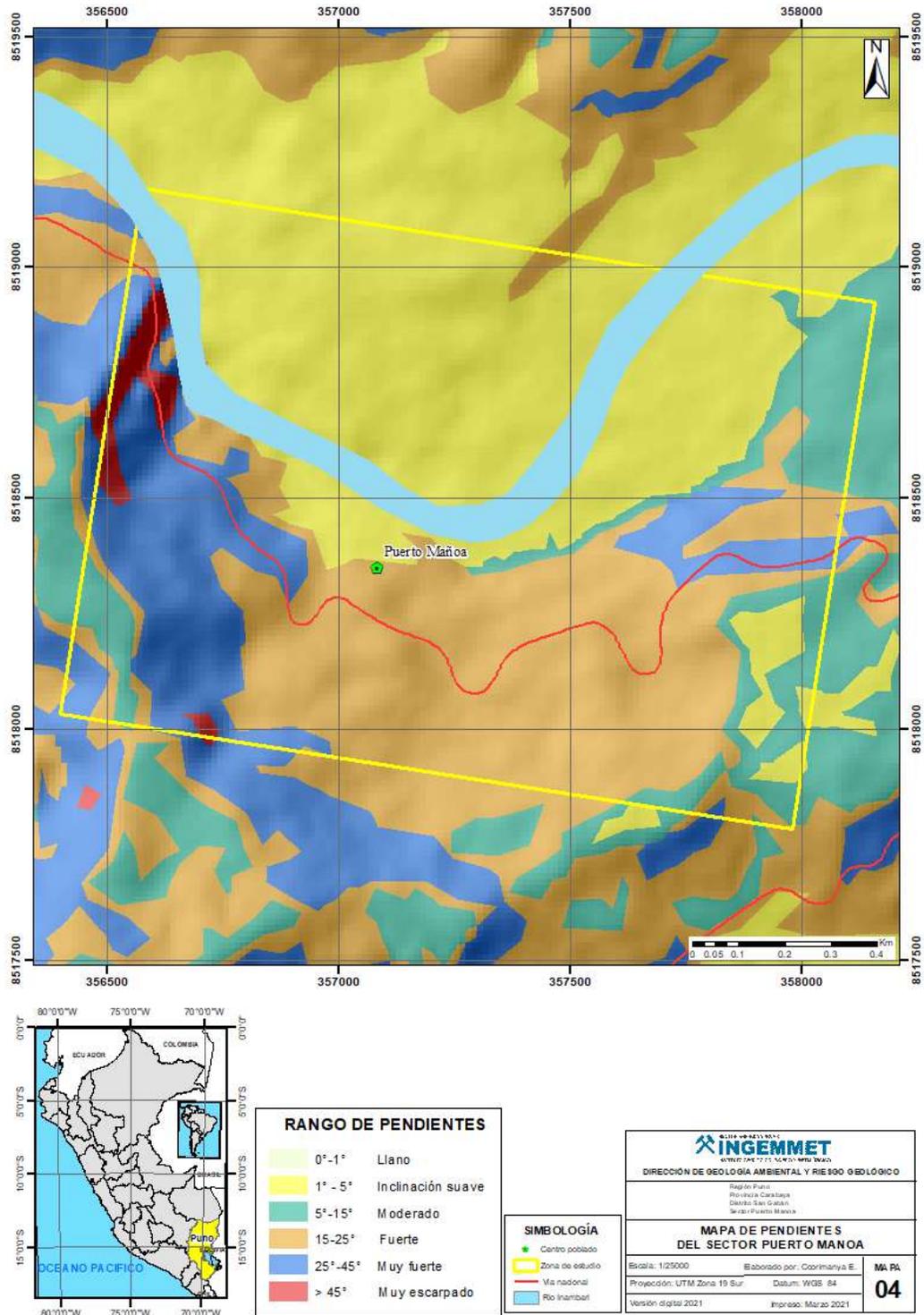


Figura 6. Mapa de pendientes del sector Puerto Manoa. (Elaboración propia).

3.2. Unidades geomorfológicas

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el área de estudio, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y caracterización conceptual en base a aspectos del relieve con relación a la erosión, denudación y sedimentación (Vílchez, et al., 2019).

En la zona de estudio se presentan geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional, y geoformas de carácter tectónico depositacional y agradacional (figura 9) que se describen a continuación.

3.2.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Están representadas por las formas de terreno resultados del efecto progresivo de procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005).

3.2.1.1. Unidad de montañas

Tienen una altura de más de 300 m con respecto al nivel de base local; según el tipo de roca que las conforma y los procesos que han originado su forma actual, se diferencia la siguiente subunidad:

Subunidad de ladera de montaña en roca metamórfica (RM-rm): Corresponde a relieve moldeado sobre roca metamórfica de la Formación Sandia; compuesta por metareniscas de grano fino a medio intercaladas con delgadas capas de pizarras y cuarcitas. Geodinámicamente asociadas a la ocurrencia de deslizamiento, derrumbes y procesos de erosión fluvial. En la zona de estudio corresponde a una ladera con pendientes fuerte a muy escarpadas varían de 23° a 52°, presentando en su mayor extensión abundante cobertura vegetal. (Figura 7).

3.2.1.2. Unidad de lomadas

Corresponde a una elevación del terreno de poca altura menor a 300 m, normalmente de forma redondeada, superficies onduladas, se les diferencian según el tipo de roca que las conforman:

Subunidad de Lomada en roca metamórfica (RL-rm): superficie con cima ondulada y ladera con alta pendiente moldeado sobre roca metamórfica de la Formación sandia, esta subunidad se encuentra en la margen derecha del río Inambari (Figura 8).



Figura 7. Subunidad de ladera de montaña en roca metamórfica, subunidad de Terraza fluvial, vista hacia el barrio Puente, margen izquierda del río Inambari.

3.2.2. Geoformas de carácter tectónico 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. Se tienen las siguientes unidades y subunidades:

3.2.2.1. Unidad de piedemonte

Corresponde a la acumulación de material muy heterogéneo, constituidos por bloques, cantos, arena, limos, arcillas inconsolidados, estos generalmente se encuentran en las laderas y en el pie de montañas.

Sub unidad de vertiente o piedemonte coluvial (V-cl): formada por la acumulación de material de origen coluvial, estos se encuentran acumulados al pie de laderas conformados por clastos heterométricos y heterogéneos de naturaleza metamórfica, los principales agentes formadores son el interperismo, la gravedad, derrumbes y vuelcos por acción de la gravedad.

Vertiente con depósito de deslizamiento (V-dd): corresponde a las 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 poco consolidados a ligeramente consolidados, de corto a mediano recorrido relacionados a las laderas superiores adyacentes. Su morfología es usualmente convexa y su disposición semicircular a elongada en relación con la zona de arranque o despegue del movimiento en masa.

En la zona de estudio este depósito se encuentra en la margen izquierda del río Inambari al pie de la ladera, corresponde al cuerpo del deslizamiento rotacional cuyo material está conformado por bloques de naturaleza metamórfica con diámetros que varían de 0.10 m a 0.25m de formas subangulosas, se encuentran medianamente consolidados.

3.2.2.2. Unidad de planicies

Terraza aluvial (T-al): subunidad geomorfológica caracterizada por presentar terrenos planos con ligera inclinación hacia el suroeste con pendientes que van de 1° a 5° con escasos sectores ondulados, constituida por acumulación de material aluvial sin consolidación (figura 8).



Figura 8. Subunidad de lomada en roca metamórfica y terraza aluvial, sector denominado como margen derecho, ubicado al frente del barrio Puente.

3.2.2.3. Unidad de planicies inundables

Subunidad de terraza fluvial (T-fl): esta subunidad se caracteriza por presentarse dentro del curso de los ríos, sobre todo tienen su mayor extensión en los ríos estacionarios. Litológicamente está compuesta por fragmentos rocosos heterogéneos (bolos, cantos

gravas, arenas, etc.), los cuales son transportados por la corriente de los ríos de la región a grandes distancias, se depositan formando terrazas bajas, también conformando la llanura de inundación o el lecho de los ríos.

3.2.2.4. Unidad geoformas particulares

Sub unidad de depósito antropogénico (Dan): estas geoformas son el resultado de un conjunto de procesos generados por el hombre, mediante procesos de transformación industrial (construcciones civiles).

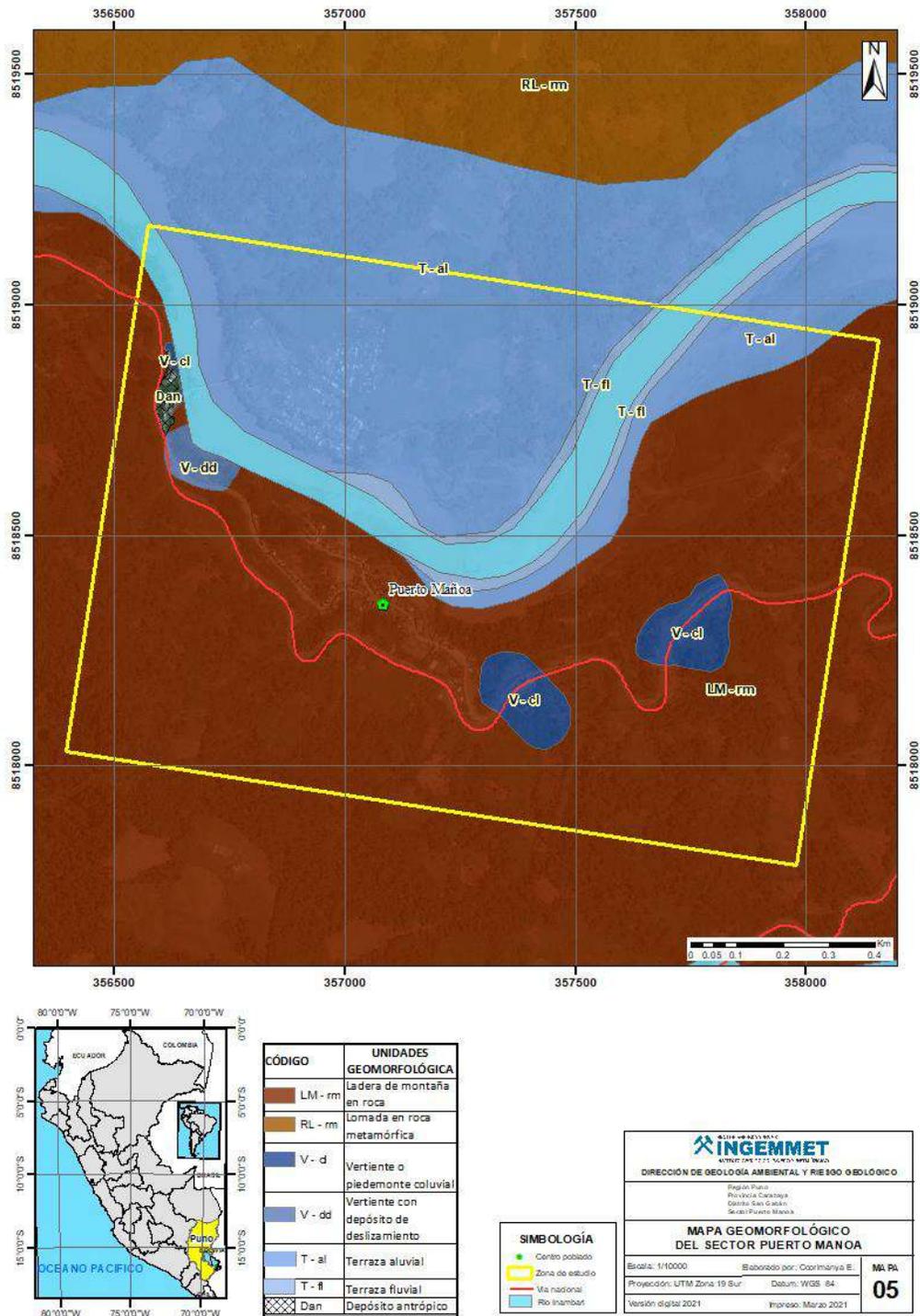


Figura 9. Mapa Geomorfológico, sector Puerto Manoa y alrededores.

4. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el sector evaluado corresponden a movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional, derrumbes y peligros geohidrológicos de tipo erosión e inundación fluvial. Estos procesos son resultado del proceso de modelamiento del terreno, así como la incisión sufrida en los cursos de agua en la Cordillera de los Andes, que conllevó a la generación de diversos movimientos en masa, que modificaron la topografía de los terrenos y movilizaron cantidades variables de materiales desde las laderas hacia el curso de los ríos.

Para la generación de los movimientos en masa, se tienen como causas o condicionantes factores intrínsecos a la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca, el tipo de suelos, la cobertura vegetal, el drenaje superficial y subterráneo principalmente. Como factores “desencadenantes o detonantes” se considera a las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias, 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 cambiando el relieve a una condición más plana (PMA: GCA, 2007).

Para la caracterización de los eventos geodinámico, se realizó en base a la información obtenida de los trabajos de campo en donde se identificaron los tipos de movimientos en masa a través del cartografiado geológico y geodinámico basado en la observación y descripción morfométrica in situ, la toma de datos GPS, fotografías a nivel de terreno y del levantamiento fotogramétrico con dron, de donde se obtuvo un modelo digital de terreno y un ortomosaico con una resolución de 0.14 y 0.07 cm por pixel, respectivamente. Esta información se complementó con el análisis de imágenes de satélite.

En la zona de estudio se han identificado y caracterizado los siguientes peligros geológicos:

4.1.1. Deslizamiento en el barrio Puente (Centro poblado Puerto Manoa)

Evento localizado en la margen izquierda del río Inambari; según lo reportado por los pobladores y autoridades de la zona las grietas y movimiento paulatino del terreno fue ocurriendo cada periodo de lluvias intensas, siendo resanados por la empresa intersur. (Figura 15)

El deslizamiento del barrio Puente, de actividad geodinámica reciente, presenta las siguientes características y dimensiones:

- Deslizamiento de tipo rotacional
- El ancho del deslizamiento es de 100 m aproximadamente.

- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- La superficie del plano de deslizamiento es circular.
- El escarpe principal presenta un salto de 2 m y una apertura de 50 cm, presentando grietas en el cuerpo de deslizamiento mayores a 10 cm de apertura (Figura 10).
- La corona de deslizamiento se encuentra sobre la plataforma de la carretera Interoceánica Sur.
- El deslizamiento produce el empuje o desplazamiento horizontal y vertical del tramo de carretera asfaltada, si bien este desplazamiento no se puede diferenciar en imágenes satelitales dispuestas en Google Earth de años pasados, se pudo observar in situ y captada por las fotografías aéreas tomadas con el dron el 21 de febrero del presente año (Figura 11).
- Dentro del área que corresponde el cuerpo del deslizamiento se observaron agrietamientos con aberturas que van de 10 a 30 cm.
- Dentro del área que corresponde al cuerpo del deslizamiento se observó 01 vivienda que presenta grietas en las paredes por el movimiento y desplazamiento del material. (Fotografía 5)



Figura 10. Imagen tomada con dirección noroeste, se observa escarpe de deslizamiento con un salto de 2 m, apertura de 0.50 m, grietas de hasta 0,15 m, se observa vivienda deshabitada el cual se encuentra en el cuerpo del deslizamiento.



Figura 11. Vista tomado con dirección noroeste, se observa la margen derecha del escarpe principal de deslizamiento, con una apertura de 35 cm, también se aprecia grietas en la pared de la vivienda ubicada dentro de la masa deslizado.



Fotografía 5. Vista de la vivienda ubicada dentro de la masa desplazada, se observa grietas en la pared de la vivienda ubicada en la margen izquierda del río Inambari. Con coordenadas UTM (WGS 84): 356735, 8518596 S.

Análisis de perfiles transversales:

En base al levantamiento fotogramétrico con “dron” se generó el Modelo Digital de Terreno (MDT) (figura 17) y se elaboró un perfil transversal (figura 18) con el objetivo de caracterizar la morfometría del deslizamiento rotacional, el cual se describe a continuación:

El perfil transversal A-A', muestra gráficamente el cuerpo de un deslizamiento de tipo rotacional en el barrio Puente, San Gabán. Se evidencia principalmente el salto de 2 m que corresponde al escarpe principal del deslizamiento que afecta 100 m de la vía asfaltada; además, se observa el plano proyectado de la masa desplazada (figura 18).

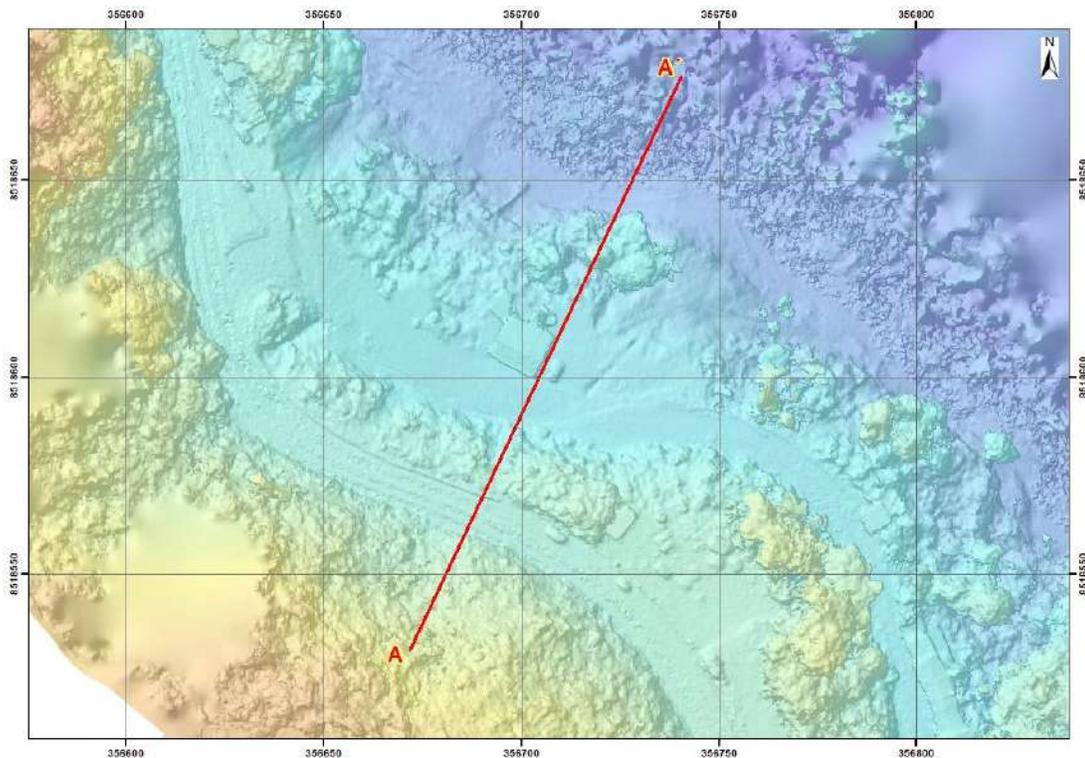


Figura 17. Sección A-A' sobre el modelo digital de terreno (MDT), el cual fue generado en base al levantamiento fotogramétrico con dron.

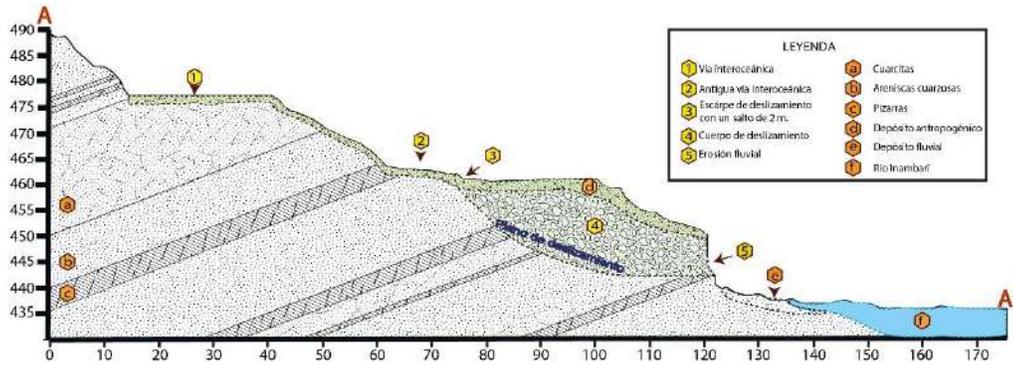


Figura 18. Perfil transversal A-A'. Barrio Puente, San Gabán.

4.1.2. Deslizamiento en el kilómetro 306 + 000 - Vía interoceánica

Corresponde al sector Puerto Manoa, afecta un tramo de 65 m de carretera asfaltada, con coordenadas UTM WGS 84- zona 19S: este: 357706 y norte: 8518268; se identificó la reactivación de un deslizamiento antiguo el cual fue inventariado en el Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3" (Fidel, L., et al., 2003); presenta agrietamiento en el cuerpo del deslizamiento tanto en la parte superior e inferior de la vía interoceánica (Figura 19, 20 y Fotografía 6).



Figura 19. Vía interoceánica Km. 306 + 000 a 306 + 065, se observa cuneta cubierta por una geomembrana, grieta resanada sobre la vía asfaltada.



Figura 20. Se observa el margen derecho del deslizamiento el cual presenta un salto de 2 m, se muestra enmarcado el escarpe correspondiente al flanco derecho del deslizamiento.



Fotografía 6. Grietas con una apertura de 5 a 15 cm, ubicados en el cuerpo del deslizamiento, se ubica carretera arriba respecto a la vía Interoceánica que conecta San Gabán y Puerto Manoa. Con coordenadas UTM (WGS 84): 357752, 8518257 S.

4.1.3. Deslizamiento en el Barrio Interoceánica.

Corresponde al sector Puerto Manoa, afecta un tramo de 140 m de carretera asfaltada, con coordenadas UTM WGS 84- zona 19S: este: 357636 y norte: 8518120; se trata de la reactivación de un deslizamiento antiguo que fue inventariado en el Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: "Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3" (Fidel, et al., 2003); corresponde a un deslizamiento de actividad muy lento por el desplazamiento de la masa desde años atrás, se observa un desplazamiento de 30 cm de la cuneta, presenta grietas carretera abajo los cuales se encuentran resanados (Figura 21 y 22).



Figura 21. Se observa grieta resanada, ubicada carretera abajo de la vía Interoceánica Puerto Manoa – San Gabán en el barrio Interoceánica. Con coordenadas UTM (WGS 84): 357636, 8518120 S.



Figura 22. Vista de la margen derecha del deslizamiento, se observa la vía asfaltada San Gabán – Puerto Manoa con grietas resanado y también presenta un desplazamiento de 30 cm de la cuneta y vía Interoceánica. Con coordenadas UTM (WGS 84): 357432, 8518192 S.

4.1.4. Derrumbes en el Barrio Puente (Centro poblado Puerto Manoa)

Consiste en dos ocurrencias de derrumbes, se ubican en la margen izquierda del río Inambari; la primera se encuentra en el lado izquierdo del deslizamiento antes mencionado y el segundo a 75 metros del puente peatonal del sector. Los derrumbes destruyeron 2 viviendas, una vivienda cada derrumbe.

Con respecto a los derrumbes ocurridos en el Barrio Puente, presenta las siguientes características:

Derrumbe 01 (Figura 12):

- Ancho promedio de la zona de arranque: 15 m
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del derrumbe: 34 m



Figura 12. Vista del derrumbe ubicado en la margen izquierda del deslizamiento, con un ancho promedio de la zona de arranque de 15 m, colapsaron 2 viviendas, ubicada

en la margen izquierda del río Inambari en el barrio Puente. Con coordenadas UTM (WGS 84): 356648, 8518611 S.

Derrumbe 02 (Figura 12):

- Ancho promedio de la zona de arranque: 13 m
- Forma de la superficie de rotura: irregular alargada
- Diferencia de altura aproximada de la corona a la base del derrumbe: 20 m
- Colapsó dos viviendas (Figura 14)



Figura 13. Vista del derrumbe 2 con un ancho promedio de 13 m, afecta estructura de dos viviendas, ubicada en el barrio Puente, margen izquierda del río Inambari a 75 metros del puente peatonal del sector.

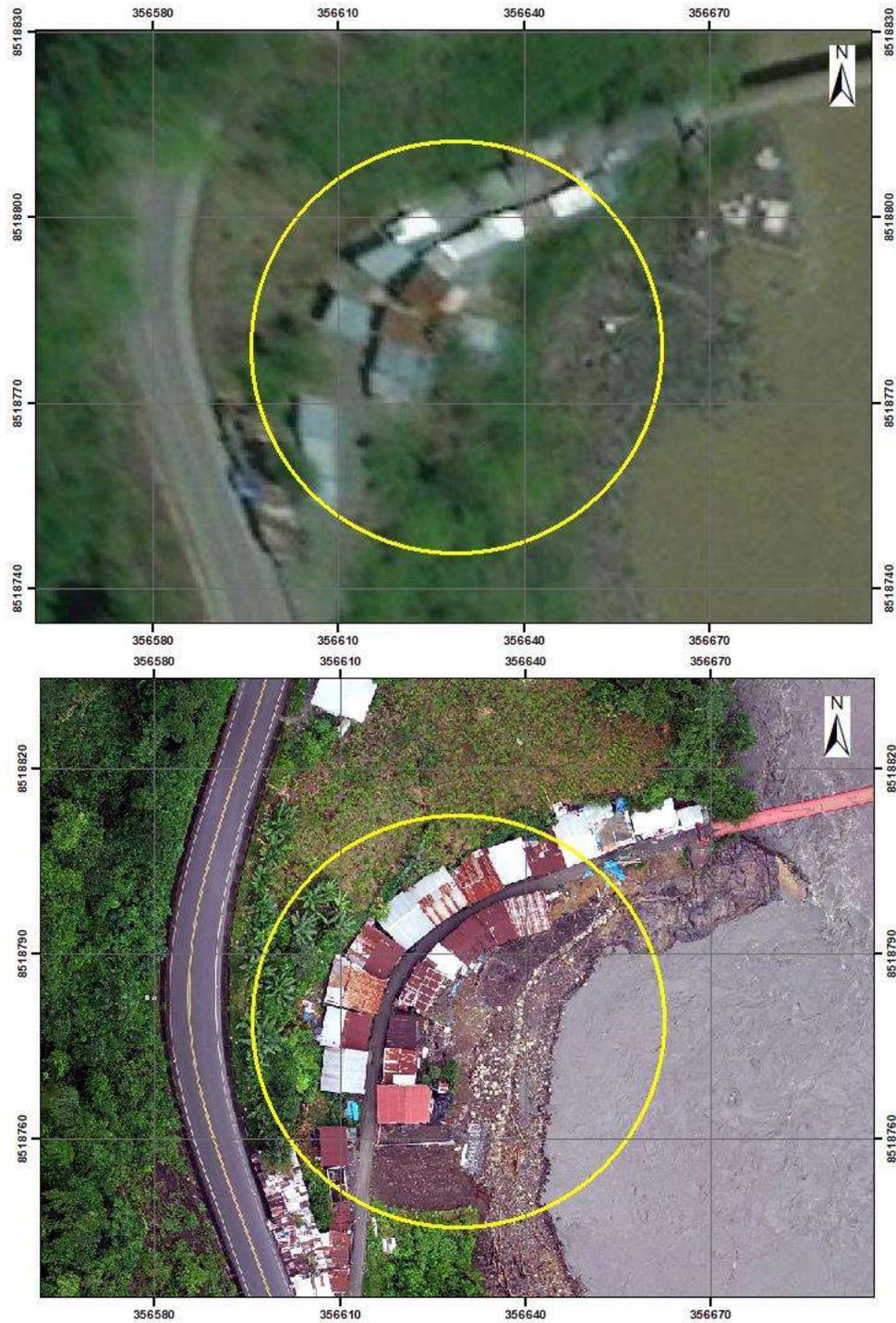


Figura 14. Comparación de imágenes satelitales antigua y actual (21 de febrero del 2021) de la zona de derrumbe, donde se visualiza viviendas que colapsaron por el movimiento en masa.



Figura 15. Se observa la corona de deslizamiento el cual se encuentra sobre la antigua vía interoceánica, grietas en el cuerpo del deslizamiento, se observa 2 viviendas en el cuerpo de deslizamiento, derrumbes en las que colapsaron 4 viviendas, del mismo modo se enmarca la erosión fluvial el cual desestabiliza el talud.

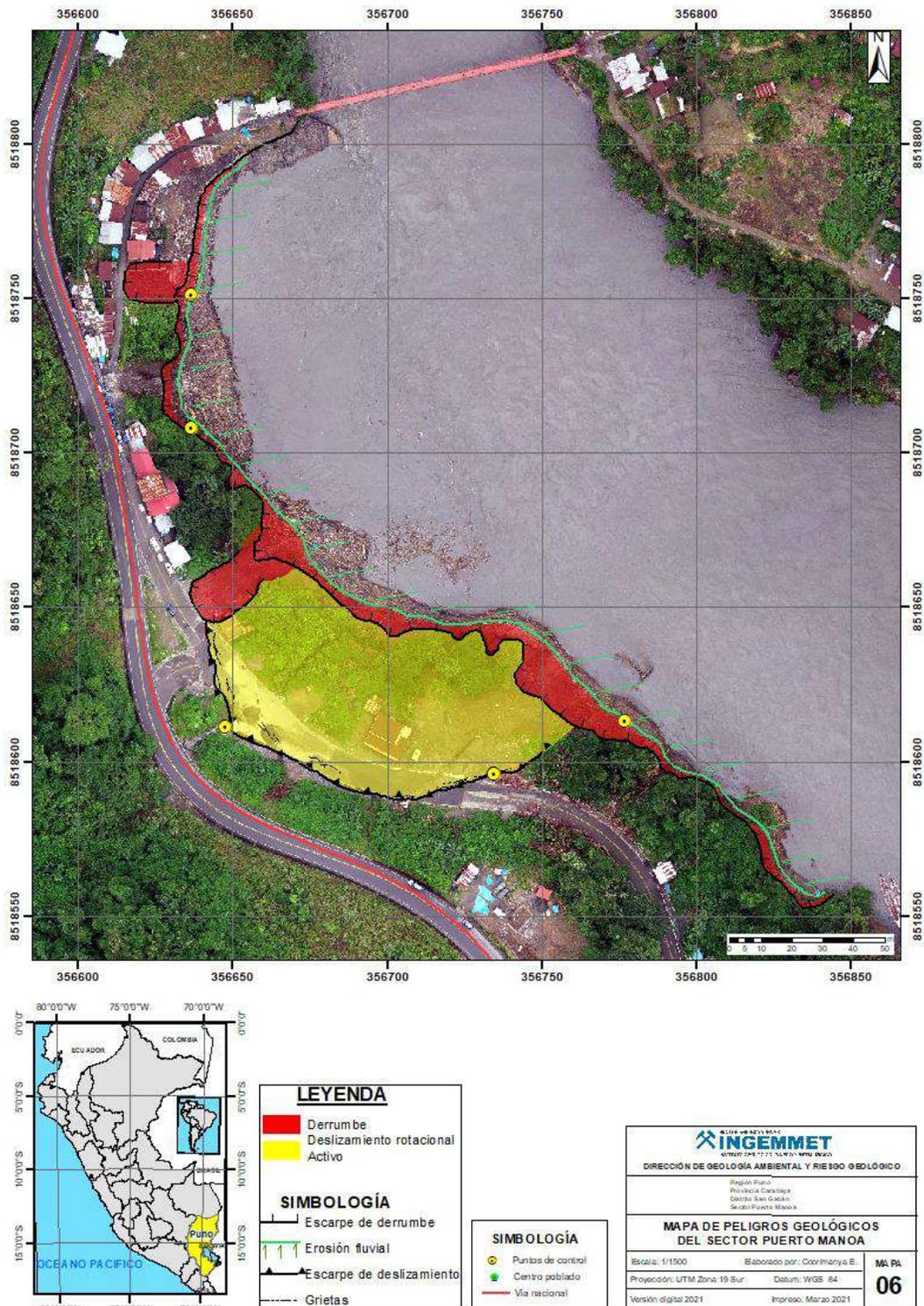


Figura 16. Mapa de peligros del sector Puerto Manoa (Elaboración propia).

4.2. Factores condicionantes

Los factores condicionantes a nivel general en la zona de evaluación corresponden a:

Factor litológico-estructural

- Substrato rocoso compuesto por metareniscas, cuarcitas y pizarras regularmente meteorizada y muy fracturado, los cuales permiten mayor infiltración y retención de aguas en el terreno, originando inestabilidad en las laderas.
- Los suelos inconsolidados (depósitos coluviales y antropogénicos) compuestos principalmente por bloques de formas subredondeados a subangulosos envuelta en una matriz limo arcillosa distribuidos de forma caótica; presentan poca compactación, muy inestables cuando son sometidos a la saturación de agua, son de fácil erosión y remoción ante precipitaciones pluviales intensas.

Factor geomorfológico

- La zona de estudio se encuentra en ladera de montaña modelada sobre roca metamórfica donde presentan pendientes fuertes (23°) a escarpadas (49°); ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo por efecto de la gravedad.
- En cuanto respecta al barrio La playa presenta pendiente suave (1° a 5°), ello permite que al incrementarse el caudal del río Inambari sus aguas lleguen a inundar las viviendas asentadas cerca a orillas del río.

Factor hidrológico

- Acción de las aguas del río Inambari, por el incremento del caudal hace que erosione la base del talud desestabilizando la zona, ello permite que el material suelto en el talud se remueva fácilmente pendiente abajo.

4.3. Factores desencadenantes

- Lluvias intensas y/o extraordinarias entre los meses de diciembre a marzo presentando mayor precipitación pluvial el 29 de enero del 2021 un total de 180.6 mm, saturando los terrenos; además, contribuye al incrementar el caudal del río provoca la erosión de la base del talud desestabilizando el terreno.

4.4. Daños por peligros geológicos

DESLIZAMIENTO:

Afectó 02 viviendas ubicadas en el cuerpo del deslizamiento quedaron inhabitables (con grietas en las paredes)

Antigua vía interoceánica asfaltada en un tramo aproximado de 100 metros.

DERRUMBE 01:

Afectó 02 viviendas ubicadas en la zona de arranque del derrumbe (01 inhabitable y 01 destruida completamente)

DERRUMBE 02:

Afectó 02 viviendas ubicadas en la zona de arranque del derrumbe (destruidas completamente)

4.5. Peligro geohidrológico

4.5.1. Inundación en el Barrio La Playa

El Barrio La Playa, ubicado en la coordenada UTM (WGS 84- zona 19S): 356938,; 8518480 S; el sector es afectado anualmente por peligro geohidrológico denominado como inundación fluvial por el incremento de caudal del río Inambari, según testimonios de los pobladores de la zona y las marcas en las paredes de las viviendas, el mes de enero por causa de las precipitaciones intensas el nivel del río Inambari incrementó hasta 6 metros aproximadamente del nivel del caudal promedio, afectando un total de 11 viviendas, además mencionar que las viviendas se ubican asentadas en la zona convexa y de erosión del cauce del río Inambari. (Fotografía 7 y Figuras 23 y 24).



Fotografía 7. Base de vivienda afectada por el incremento del caudal del río Inambari debido a las precipitaciones intensas, se ubica en la desembocadura de la quebrada Castilla, margen izquierda del río Inambari en el barrio la Playa.



Figura 23. Delimitada con línea discontinuas, se muestra las huellas que dejó el incremento de caudal del río Inambari durante la inundación fluvial en el Barrio La Playa.



Figura 24. Delimitada con línea discontinuas, se muestra el nivel que alcanzó el río Inambari y dejó algunas viviendas inhabitables en el barrio La Playa.

4.5.2. Erosión fluvial

Ocurre a lo largo de todo el cauce del río Inambari, en la zona de estudio principalmente en el barrio Puente la erosión fluvial inestabiliza la base de talud provocando derrumbes en la zona a lo largo de una longitud de aproximadamente 300 m.

5. CARACTERIZACIÓN DE AREAS PROPUESTAS PARA REUBICACIÓN

Las áreas de reubicación propuestas por el alcalde del centro poblado de Puerto Manoa son las siguientes:

5.1. Área denominada como margen derecha / zona propuesta 1

El área denominada como margen derecha, es un área propuesta para reubicar a las familias afectadas por los peligros geológicos ocurridos en el centro poblado Puerto Manoa, consta de un total de 7500 m², cuenta con red matriz de electrificación, matriz de agua potable cercano a la zona, cuenta con vía de acceso a la carretera Interoceánica (Figura 25).



Figura 25. Posible área de reubicación denominada margen derecho. Con coordenadas UTM (WGS 84): 357044, 8518865 S.

a) Condiciones geológicas

Depósito aluvial: conformada por clastos sub angulosos a sub redondeados envuelta en una matriz limo arenosa poco compactas, se encuentra cubierta por vegetación.

b) Condiciones geomorfológicas

Terraza aluvial (T-al): Subunidad geomorfológica caracterizada por presentar relieve plano con escasos sectores ondulados (Figura 26), constituidos por acumulación de material aluvial no consolidado, la pendiente del terreno corresponde a una inclinación suave ($1^\circ - 5^\circ$)



Figura 26. Subunidad de Vertiente o piedemonte aluvial (T-al), esta geoforma corresponde a la posible área de reubicación denominada como Margen derecho. Con coordenadas UTM (WGS 84): 357127, 8519034 S.

c) Condiciones geodinámicas

Esta área de posible reubicación corresponde a una amplia terraza aluvial el cual no se encuentra cercana a zonas de alta pendiente en las cuales se podrían desencadenar futuros procesos por movimientos en masa.

5.2. Área denominada como Vista Alegre / zona propuesta 2

Corresponde a la segunda área propuesta para reubicar a las familias afectadas por los peligros geológicos ocurridos en el centro poblado Puerto Manoa, cuyas medidas consta de 1 km de largo y 20m de ancho siendo un total de 2 ha, cuenta con red matriz de electrificación cercana, vía de acceso principal vía Interoceánica, se encuentra aproximadamente a 10 min del sector Puerto Manoa.

Es importante mencionar que la cabecera de talud que se ubica entre la vía Interoceánica sur y el río Inambari no está considerada dentro del área de propuesta por ser una zona no apta para expansión urbana. (Figura 27).

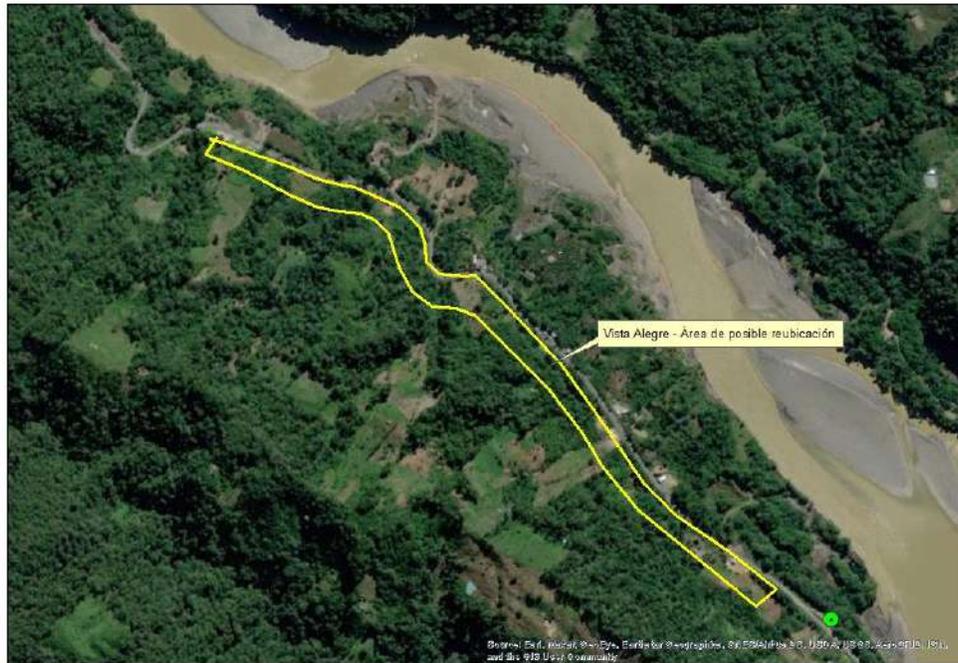


Figura 27. Posible área de reubicación ubicado en el sector Vista Alegre.

a) Condiciones geológicas

Depósito aluvial: conformada por clastos sub angulosos a sub redondeados envuelta en una matriz limo arenosa, se encuentra cubierta por vegetación y áreas de cultivos.

b) Condiciones geomorfológicas

Terraza aluvial (T-al): Subunidad geomorfológica caracterizada por presentar relieve plano con escasos sectores ondulados, constituida por acumulación de material aluvial no consolidada, con pendientes que corresponden a inclinación suave ($1^\circ - 5^\circ$).

c) Condiciones geodinámicas

Esta área de posible reubicación al encontrarse ubicada a pie de montaña y por las modificaciones que pueda tener el terreno en un futuro (tala de árboles, remoción de material para la construcción de sus viviendas) podría causar desestabilización en la ladera de montaña por el tipo de material de la zona y la saturación del terreno.

5.3. Selección de Área para Reubicación

En cuanto a las dos áreas de reubicación descritas en los ítems 5.1 y 5.2, se considera que ambas cuentan con las condiciones aceptables para ser considerada como zona de reubicación.

Para un correcto asentamiento se debe considerar los siguientes aspectos:

- Realizar un estudio geotécnico para determinar el número máximo de pisos a construir.
- Durante la construcción de viviendas no realizar corte de talud.
- Implementar un sistema de drenaje para captar las aguas pluviales y prevenir la erosión.
- No considerar como zona de expansión urbana áreas ubicadas al pie y cabeza de talud.

6. CONCLUSIONES

- a) Las unidades litoestratigráficas que afloran en el sector Puerto Manoa están conformadas principalmente por rocas metamórficas que corresponden a la Formación Sandia constituida principalmente por metareniscas intercaladas con capas de pizarras y cuarcitas los que se encuentran muy fracturados y meteorizadas cubiertas por depósitos coluviales, presentan nula o poca compactación y depósitos antropogénicos compuesto por rellenos para obras civiles. La meteorización y erosión de estas rocas y sedimentos crean coberturas susceptibles a deslizamientos, derrumbes y procesos de erosión. El sector Puerto Manoa (barrios Puente, La Playa, interoceánica Interoceánica y la vía interoceánica sur: tramo de carretera Km 306 + 000 al Km 306 + 065) se considera como zona de **Peligro Muy Alto** a la ocurrencia de derrumbes, deslizamientos, inundación fluvial y erosión fluvial que pueden ser desencadenados en temporada de lluvias intensas y excepcionales.
- b) En el Barrio La Playa, el peligro identificado corresponde a inundación fluvial a causa de la pendiente suave del terreno (1° a 5°).
- c) En el Barrio Puente, los peligros identificados corresponden a derrumbes y deslizamiento de tipo rotacional a causa de la pendiente, tipo de material y erosión fluvial del talud
- d) En la vía Interoceánica en el tramo del Barrio Interoceánica y tramo de carretera km 306 + 000 al km 306 + 065 se identificaron peligros identificados como deslizamiento rotacional a causa de la pendiente, tipo de material y saturación del suelo.
- e) La ocurrencia de los peligros geológicos por movimientos en masa en la zona de evaluación está condicionada por los siguientes factores: Sustrato rocoso compuesto por metareniscas, cuarcitas y pizarras regularmente meteorizado y muy fracturado, los cuales permiten mayor infiltración, suelos inconsolidados (conformados por depósitos coluviales y antropogénicos) depositados en las laderas son fácilmente erosionales y removibles ante precipitaciones pluviales intensas, laderas con pendientes fuertes (23°) a escarpadas (49°), ello permite que el material suelto disponible se erosione y se remueva fácilmente pendiente abajo, por efecto de la gravedad.
- f) El factor desencadenante para la ocurrencia de derrumbes, deslizamiento e inundación en el centro poblado Puerto Manoa, fueron las lluvias intensas registradas días antes a los eventos (SENAMHI, 2021).
- g) Los sectores evaluados, como son: el sector denominado como margen derecha y el sector Vista alegre cuentan con las condiciones geológicas mínimas para ser considerado como áreas de reubicación.

7. RECOMENDACIONES

- A) Reubicar temporalmente a la población del sector Puerto Manoa a los sectores denominados como Margen derecho y/o Vista Alegre; posteriormente, realizar estudios de evaluación de riesgos (EVAR), que determinen el reasentamiento definitivo.
- B) Con respecto a las áreas de reubicación realizar un estudio de suelo para determinar el número máximo de pisos a construir, no hacer cortes de talud, realizar un sistema de drenaje pluvial y no considerar como zona de expansión urbana zonas ubicadas al pie y cabeza de talud
- C) No construir viviendas o infraestructura en las zonas definidas y delimitadas como susceptibles a la ocurrencia de peligros por movimiento en masa, estas áreas están clasificadas como zonas de alto peligro a ocurrencia de procesos de remoción en masa.
- D) Respecto al tramo de la antigua vía Interoceánica sur ubicado en el barrio Puente se recomienda no utilizar la vía de acceso debido a que se encuentra en una zona inestable.
- E) Construir zanjas de coronación, sistemas de alcantarillado o cunetas sobre el tramo de la vía Interoceánica sur en el Km 306 + 000 y el tramo ubicado en el barrio Interoceánica.
- F) Reforestar el talud con plantas de la zona.
- G) Realizar charlas de sensibilización y concientización a la población a través de talleres o charlas con el objetivo de concientizar en gestión de riesgos para evitar asentamientos de viviendas o infraestructura en zonas de peligros latentes en las laderas y riberas del río Inambari.


ING. HUGO DULIO GOMEZ VELASQUEZ
Especialista en Peligros Geológicos
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico


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

8. BIBLIOGRAFÍA

Fidel et al., (2003) Boletín N°28, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Estudio de Riesgos Geológicos del Perú Franja N°3”.

Gómez, D. & Pari, W., (2020). Boletín N°77, serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica: “Peligro Geológico en la Región Puno”

Palacios, O., (1996). Boletín N°81, serie A, Carta Geológica Nacional: “Geología de los cuadrángulos de Puerto Luz, Colorado, Laberinto, Puerto Maldonado, Quincemil, Masuco, Astillero y Rambopata; Hojas 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 27-u, 27-v, 27-x, 27-y”

Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (2007) - Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de amenazas. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería, 432 p., Publicación Geológica Multinacional, 4

Sánchez, J., (2003), “Memoria descriptiva de la revisión y actualización de 21 cuadrángulos del Llano Amazónico Hojas 25-r, 5-s, 25-t, 25-u, 25-v, 25-x, 25-y, 25-z, 26-t, 26-u, 26-v, 26-x, 26-y, 26-z, 27-v, 27-x, 27-y, 28-z, 28-y, 28-x; Escala 1:100000.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (2021) – SENAMHI, disponible en la página web: <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=puno&p=estaciones>

ANEXO 1: GLOSARIO

MOVIMIENTO EN MASA (mass movement, landslide):

Fenómeno de remoción en masa (Co, Ar), proceso de remoción en masa (Ar), remoción en masa (Ch), fenómeno de movimiento en masa, movimientos de ladera, movimientos de vertiente. Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991).

SUSCEPTIBILIDAD

La susceptibilidad está definida como la propensión o tendencia de una zona a ser afectada o hallarse bajo la influencia de un proceso de movimientos en masa determinado.

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 1).

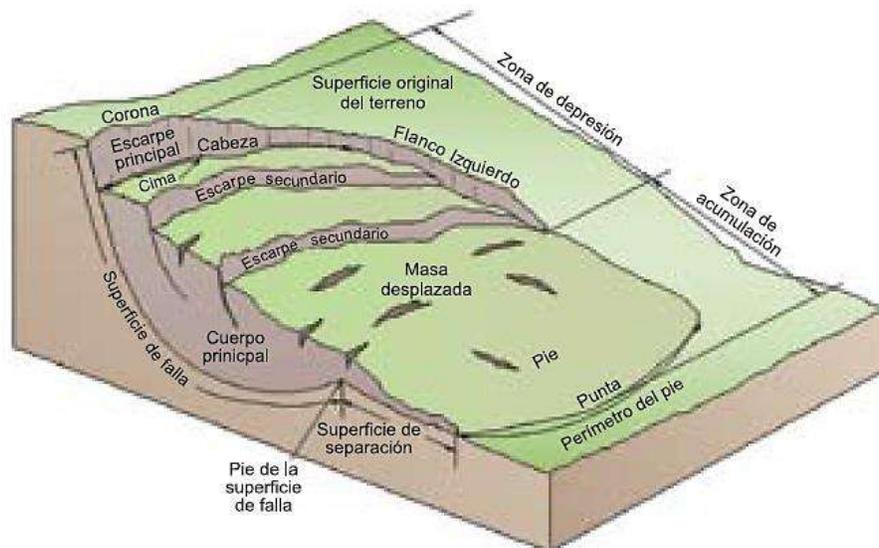


Figura 1. Diagrama de bloque de un deslizamiento (WP/WLI, 1990).

CAÍDAS

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 un desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido el material, cae desplazándose principalmente por el aire, y puede 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 & Varnes, 1996), es decir, con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s.

En función al mecanismo principal y la morfología de las zonas afectadas por el movimiento, así como del material involucrado, las caídas se subdividen en tres tipos principales: aludes, caída de rocas y derrumbes.

DERRUMBE:

Son desprendimientos de masas de roca, suelo o ambas, a lo largo de superficies irregulares de arranque o desplome como una sola unidad, que involucra desde pocos metros hasta decenas y centenas de metros (figura 2). Se presentan en laderas de montañas de fuerte pendiente y paredes verticales a subverticales en acantilados de valles encañonados. También se presentan a lo largo de taludes de corte realizados en laderas de montaña de moderada a fuerte pendiente, con afloramientos fracturados y alterados de diferentes tipos de rocas; así como en depósitos poco consolidados (Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:..

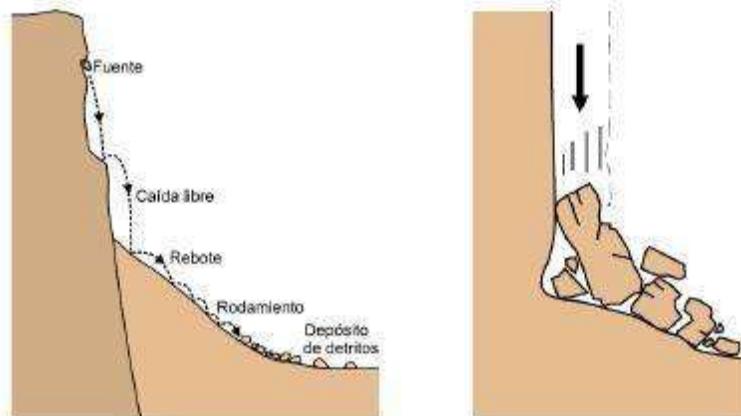


Figura 2. Esquema de un derrumbe.

FRACTURA (crack) Corresponde a una estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan (Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA.

METEORIZACIÓN (weathering) Se designa así a todas aquellas alteraciones que modifican las características físicas y químicas de las rocas y suelos. La meteorización puede ser física, química y biológica. Los suelos residuales se forman por la meteorización in situ de las rocas subyacentes (Proyecto Multinacional Andino – Movimientos en Masa GEMMA, del PMA: GCA:

INUNDACIÓN FLUVIAL:

Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda terrenos circundantes (Manual para Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión).

LLANURA DE INUNDACIÓN:

Las llanuras de inundación (franjas de inundación) son áreas de superficie adyacente a ríos o riachuelos, sujetas a inundaciones recurrentes. Debido a su naturaleza cambia las llanuras de inundación y otras áreas inundables deben ser examinadas para precisar la manera en que pueden afectar al desarrollo o ser afectadas por él (Manual para Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales 02 Versión).

ANEXO 3: MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Muros de gravedad. Son los muros más antiguos, conforman elementos pasivos en los que el peso propio es la acción estabilizadora fundamental (figuras 3, 4 y 5). Se construyen de hormigón en masa, pero también existen de ladrillo o mampostería y se emplean para prevenir o detener deslizamientos de pequeño tamaño. Sus grandes ventajas son su facilidad constructiva y bajo costo.

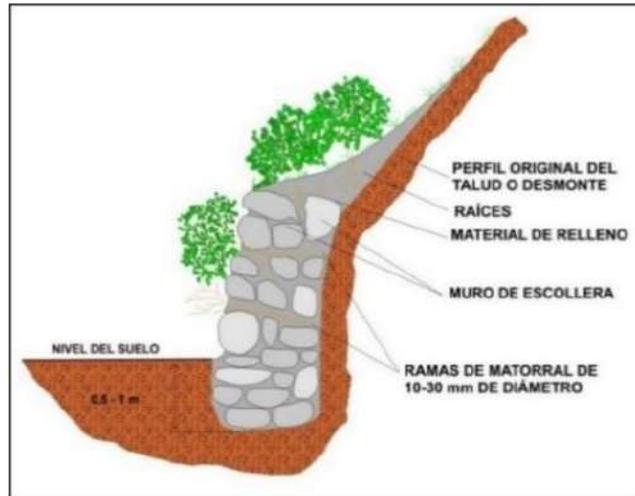


Figura 3. Muros de gravedad de piedra seca

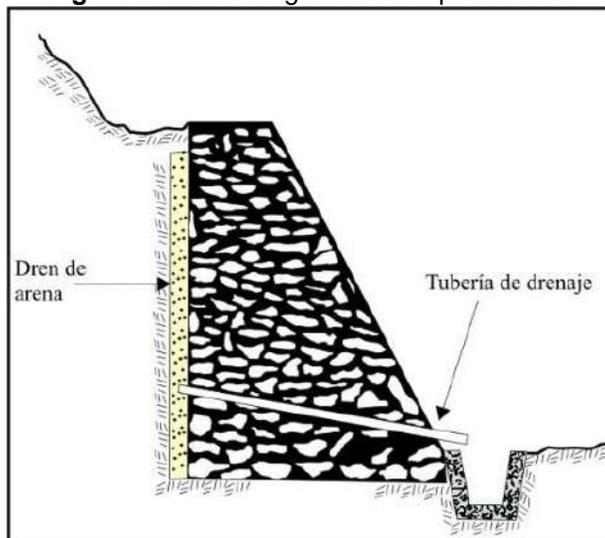


Figura 4. Muros de gravedad de piedra argamasada (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000)

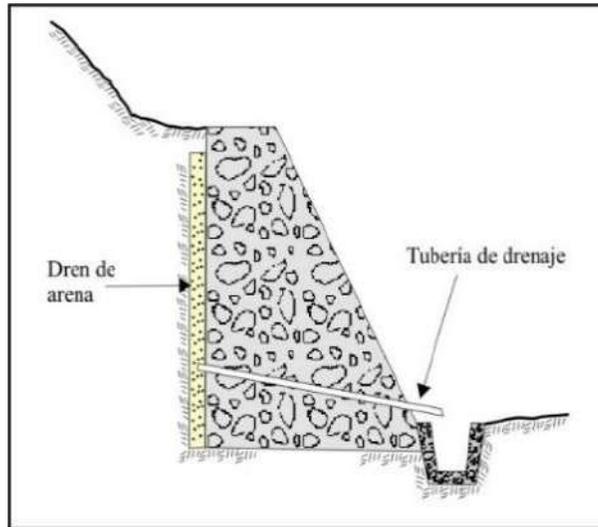


Figura 5. Muros de gravedad de concreto ciclópeo (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, 2000)