

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7349

EVALUACIÓN DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE JR. JUNÍN (CUADRA 9), P. J. NUEVA ESPERANZA, A. H. HERMANOS CÁRCAMO, P. J. 13 DE JULIO, A. H. VISTA AL MAR, SECTOR CERRO LLORÓN Y P. J. SAN MARTÍN CENTRAL DE LA CIUDAD DE PAITA

Departamento Piura
Provincia Paita
Distrito Paita



ENERO
2023

**EVALUACIÓN DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR DE
JR. JUNÍN [CUADRA 9], P. J. NUEVA ESPERANZA, A. H. HERMANOS
CÁRCAMO, P.J. 13 DE JULIO, A.H. VISTA AL MAR, SECTOR CERRO LLORÓN Y
P. J. SAN MARTÍN CENTRAL DE LA CIUDAD DE PAITA**

Distrito Paita, provincia Paita, departamento Piura.

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

Equipo de investigación:

*Elvis Rubén Alcántara Quispe
Luis Miguel León Ordáz*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). Evaluación de peligros por movimientos en masa en el sector de Jr. Junín [cuadra 9], P.J. Nueva Esperanza, A.H. Hermanos Cárcamo, P.J. 13 de julio, A.H. Vista al Mar, sector Cerro Llorón y P.J. San Martín Central de la ciudad de Paita, distrito Paita, provincia Paita, departamento Piura. Lima: Ingemmet, Informe Técnico N° A7349, 45 p.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Objetivos del estudio.....	4
1.2. Antecedentes.....	5
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Población	6
1.3.3. Accesibilidad	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	8
3. ASPECTO GEOLÓGICO.....	10
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
3.1.1. Formación Chira (Pe-chi)	10
3.1.2. Formación Mirador (Pe-m).....	11
3.1.3. Formación Tablazo Talara (Qp-tt).....	13
3.1.2. Depósitos cuaternarios.....	13
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	15
4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)	15
4.2. Pendiente del terreno.....	16
4.3. Unidades Geomorfológicas.....	17
4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional.....	17
4.3.2. Geoformas de carácter depositacional y agradacional	17
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	19
5.1. Sector Jr. Junín C9	22
5.1.1. Descripción de los movimientos en masa	22
5.1.2. Características visuales y morfométricas – derrumbe Jr. Junín C9.....	23
5.2. Sector PJ Nueva Esperanza – AH Hermanos Cárcamo – PJ 13 de Julio....	24
5.2.1. Descripción de los movimientos en masa.....	24
5.2.2. Características visuales y morfométricas – derrumbe AH Hermanos Cárcamo.....	26
5.2.3. Características visuales y morfométricas – erosión en cárcava PJ Nueva Esperanza.....	27
5.2.4. Características visuales y morfométricas – flujo de detritos PJ 13 de Julio	29
5.3. Sector AH Vista al Mar.....	30
5.3.1. Descripción de los movimientos en masa – AH Vista al Mar	30
5.3.2. Características visuales y morfométricas – Derrumbe AH Vista al Mar...	31
5.4. Sector Cerro Llorón – PJ San Martín Central	32
5.4.1. Descripción de los movimientos en masa.....	32
5.4.2. Características visuales y morfométricas – Flujo de detritos Cerro Llorón PJ San Martín Central	34
6. CONCLUSIONES	36
7. RECOMENDACIONES	37
8. BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO 1. MAPAS	39
ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS	43

RESUMEN

Con este trabajo el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, por intermedio de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realiza la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (Actividad 11)”. Con este informe técnico, el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, cumple con una de sus funciones que consiste en brindar asistencia técnica en peligros geológicos para los tres niveles de gobierno.

El presente documento es el resultado de la evaluación de peligros geológicos por movimientos en masa en los sectores de Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central de la ciudad de Paita; donde se han cartografiado 8 derrumbes (113 381 m²), 20 zonas con erosión en cárcava (246 188 m²) y 14 zonas con flujos de detritos (111 658 m²).

Como basamento rocoso se tienen lutitas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas (Formación Chira); y conglomerados con areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador); estos eventos han generado depósitos coluviales, coluvio-deluviales y proluviales; también se tienen depósitos marinos y antropógenos.

Las geoformas de la zona corresponden a colinas en rocas sedimentarias, vertientes coluviales de detritos, vertientes coluvio-deluviales, piedemontes proluviales, llanuras o planicies aluviales, depósitos antrópicos y terrazas marinas; mientras la pendiente de los terrenos va de llanas (<1°) en las planicies; en las laderas van de escarpadas (25°-45°) a muy escarpadas (>45°) donde se presentan procesos de remoción en masa.

El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales intensas (relacionadas con eventos Niño), sumado a las múltiples zonas con surgencias de aguas subterráneas que vienen desestabilizando las laderas.

Por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, que presenta el terreno se considera a los sectores:

- Jr. Junín Cuadra 9 – **Peligro Alto**
- Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo – **Peligro Alto**
- Pueblo Joven Nueva Esperanza – **Peligro Alto a Muy Alto**
- Pueblo Joven 13 de Julio – **Peligro Alto a Muy Alto**
- Asentamiento Humano Vista al Mar – **Peligro Alto a Muy Alto**
- Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín – **Peligro Muy Alto y Zona Crítica.**

Se brindan las recomendaciones que se consideran importantes, sean tomadas en cuenta, tanto por las autoridades competentes y tomadores de decisiones, donde se recomienda construir drenes de coronación, reforestar las laderas, reubicar las viviendas afectadas, realizar estudios geofísicos complementarios y prohibir la construcción de nuevas viviendas en las cercanías a los acantilados y procesos de erosiones de ladera.

Realizar un EVAR, con la finalidad de determinar las medidas correctivas a implementar, como también determinar costo beneficio sobre las medidas y reubicación.

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 remitida por la Municipalidad Provincial de Paita, según Oficio N° 0323-2022-MPP/ALC, es en el marco de nuestras competencias que se realiza una evaluación de peligros geológicos por movimientos en los sectores de Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central de la ciudad de Paita.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet designó a los Ingenieros Luis Miguel León Ordáz y Elvis Rubén Alcántara Quispe, para realizar la evaluación de peligros geológicos en la ciudad de Paita; llevado a cabo el día 24 de octubre del 2022.

La evaluación técnica se basa en la recopilación y análisis de información existente de trabajos anteriores del Ingemmet, los datos obtenidos durante el trabajo de campo (puntos de control GPS, 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 Provincial de Paita, Gobierno Regional de Piura y sectores involucrados; donde se proporcionan los resultados de la inspección y recomendaciones para la 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) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos en los sectores Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central de la ciudad de Paita, distrito y provincia Paita, departamento Piura.
- b) Determinar los factores condicionantes y desencadenantes que influyen en la ocurrencia de los peligros geológicos.
- c) Proponer medidas de prevención, reducción y mitigación ante peligros geológicos identificados en los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

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

- Boletín N° 54 Serie A, Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada. Seca, Zorritos, Tumbes, Zarumilla (Palacios Moncayo, 1994) describen la geología a una escala 1:100 000; se señala que, en la zona de estudio, se tienen afloramientos de areniscas calcáreas y lutitas (Formación Chira), areniscas y conglomerados (Formación Miramar) y conglomerados fosilíferos (Formación Tablazo Talara). En el cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, versión 2021 (Ingemmet, 2021); por escala y detalle, se reafirma la presencia de las Formaciones Chira, Miramar y Tablazo Talara.
- En Boletín N° 52, Serie C, Estudio de Riesgo geológico en la región Piura (Vílchez Mata et al., 2013), presenta un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, a escala 1:250 000; donde la zona evaluada se sitúa sobre susceptibilidad moderada ante la ocurrencia de movimientos en masa.

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El área de evaluación corresponde a los sectores de Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central que se encuentran en la ciudad de Paita, distrito y provincia Paita, departamento Piura (Figura 1), ubicada en las coordenadas UTM WGS 84 – Zona: 17S descritas en el Cuadro 1; además de las coordenadas centrales de los sectores evaluados.

Cuadro 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 17S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	488950	9438600	-5.079021	-81.099693
2	488950	9436200	-5.100733	-81.099693
3	486700	9436200	-5.100729	-81.119995
4	486700	9438600	-5.079017	-81.119995
Coordenada central de los movimientos en masa evaluados				
Jr. Junín Cuadra 9	488360	9437897	-5.085376	-81.105019
Pueblo Joven Nueva Esperanza	488068	9437358	-5.090257	-81.107658
Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo	488272	9437343	-5.090393	-81.105812
Pueblo Joven 13 de Julio	487916	9437240	-5.091321	-81.109023
Asentamiento Humano Vista al Mar	487915	9436959	-5.093860	-81.109039
Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central	487162	9437050	-5.093041	-81.115830

1.3.2. Población

De acuerdo a la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas o Censo peruano de 2017 (INEI, 2018), la ciudad de Paita tiene una población de 50 401 habitantes, distribuidos en 8 850 viviendas, con acceso a red pública de agua, energía eléctrica y desagüe.

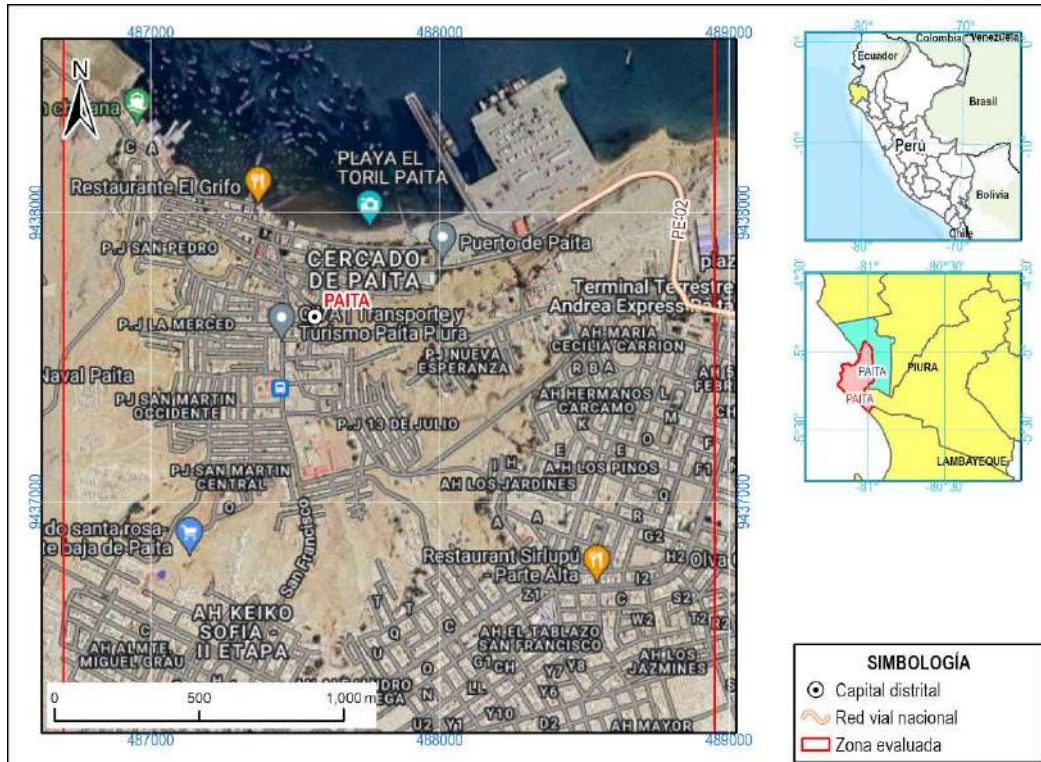


Figura 1. Ubicación de las áreas evaluadas.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso hasta la localidad evaluada, se realiza por vía terrestre desde la ciudad de Piura, a través de la vía nacional PE-02 (Carretera Piura-Paita), tal como se detalla en la siguiente ruta (Cuadro 2, Figura 2):

Cuadro 2. Rutas y acceso a la zona evaluada.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Piura – Paita	Asfaltada	56	50 minutos

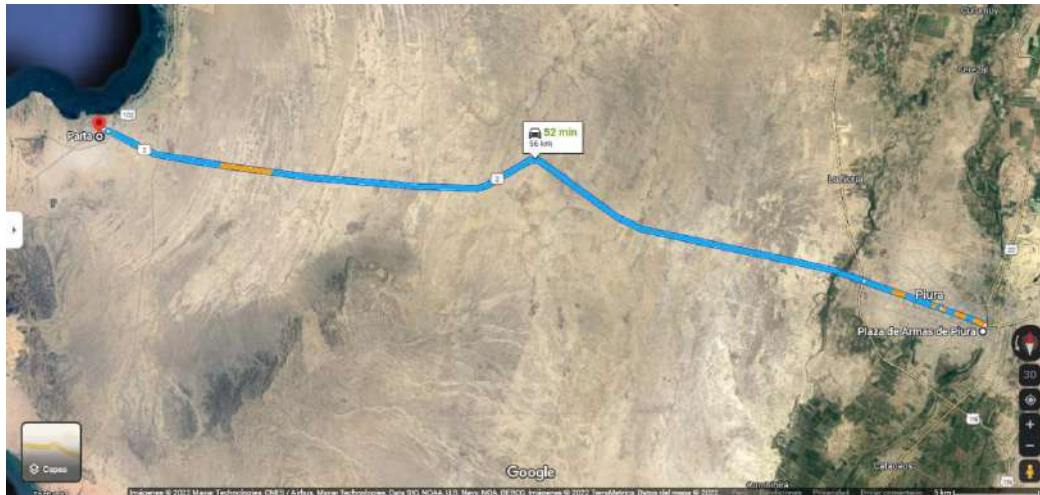


Figura 2. Ruta de acceso desde la Piura hasta la ciudad de Paita. **Fuente:** Google Maps.

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año, cálido (E (d) A'), con una temperatura máxima promedio entre 15°C a 33°C, una temperatura mínima promedio entre 13°C y 23°C y una precipitación anual entre 700 mm a 900 mm.

Históricamente, la provincia de Paita ha tenido eventos extremos de lluvias superiores a 50mm/día, sin embargo, estos episodios han sido muy esporádicos (Gráfico 1) presentando la mayoría de los años precipitaciones máximas de 20-30mm/día (Senamhi, 2014).

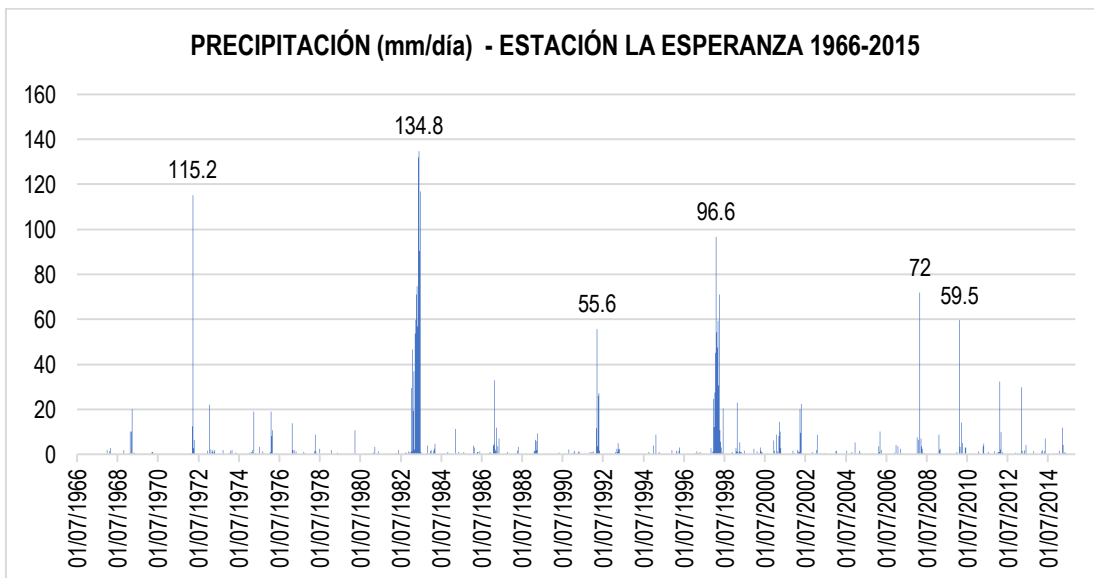


Gráfico 1. Precipitación diaria durante los años 1966 y 2015 en la Estación La Esperanza (Colán-Paita). **Fuente:** Senamhi.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a las entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, que no son necesariamente geólogos; por ello se desarrollan algunas definiciones relevantes, considerando como base el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA, 2007), los términos y definiciones se detallan a continuación:

Agrietamiento: Formación de grietas causada por esfuerzos de tensión o de compresión sobre masas de suelo o roca, o por desecación de materiales arcillosos.

Arcilla: Suelo para ingeniería con tamaño de partículas menores a 2 micras (0,002 mm) que contienen minerales arcillosos. Las arcillas y suelos arcillosos se caracterizan por presentar cohesión y plasticidad; muy influenciados por el agua en su comportamiento.

Caída: Movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera. El material se desplaza por el aire, golpeando, rebotando o rodando (Varnes, 1978). Se clasifican en caídas de rocas, suelos y derrumbes.

Coluvial: Forma de terreno o material originado por la acción de la gravedad.

Coluvio-deluvial: Forma de terreno o depósito formado por la acumulación intercalada de materiales de origen coluvial y deluvial (material con poco transporte), los cuales se encuentran interstratificados y por lo general no es posible diferenciarlos.

Condicionante: Se refiere a todos aquellos factores naturales o antrópicos que condicionan o contribuyen a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituyen el evento detonante del movimiento.

Corona: Zona adyacente arriba del escarpe principal de un deslizamiento que prácticamente no ha sufrido desplazamiento lateral abajo. Sobre ella suelen presentarse algunas grietas paralelas o semi paralelas conocidas de tensión o de tracción.

Derrumbe: Desplome de una masa de roca, suelo o ambos por gravedad, sin presentar una superficie o plano definido de ruptura, y más bien una zona irregular. Se producen por lluvias intensas, erosión fluvial; rocas muy meteorizadas y fracturadas.

Detonante: Acción o evento natural o antrópico, que es la causa directa e inmediata de un movimiento en masa. Entre ellos pueden estar, por ejemplo, los terremotos, la lluvia, la excavación del pie de una ladera, la sobrecarga de una ladera, entre otros.

Erosión de laderas: Se manifiesta a manera de láminas, surcos y cárcavas en los terrenos. Un intenso patrón de estos tipos de erosiones se denomina tierras malas o bad lands. Este proceso comienza con canales muy delgados cuyas dimensiones, a medida que persiste la erosión, pueden variar y aumentar desde estrechas y poco profundas (< 1 m) hasta amplias y de varios metros de profundidad.

Flujo: Movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978). Existen tipos de flujos como flujos de lodo, flujos de detritos (huaicos), avalanchas de rocas y detritos, crecida de detritos, flujos secos y lahares (por actividad volcánica).

Flujo de detritos (huaico): Flujo con predominancia mayor de 50% de material grueso (bloques, gravas), sobre los finos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada.

Formación geológica: Unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por presentar propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.

Fractura: Estructura de discontinuidad menor en la cual hay separación por tensión, pero sin movimiento tangencial entre los cuerpos que se separan.

Ladera: Superficie natural inclinada de un terreno.

Meteorización: 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.

Movimiento en masa: Movimiento ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras (Cruden, 1991). Estos procesos corresponden a caídas, vuelcos, deslizamientos, flujos, entre otros. Sin.: Remoción en masa y movimientos de ladera.

Peligro o amenaza geológica: Proceso o fenómeno geológico que podría ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.

Saturación: El grado de saturación refleja la cantidad de agua contenida en los poros de un volumen de suelo dado. Se expresa como una relación entre el volumen de agua y el volumen de vacíos.

Susceptibilidad: La susceptibilidad está definida como la propensión que tiene una determinada zona a ser afectada por un determinado proceso geológico, expresado en grados cualitativos y relativos. Los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos geodinámicos son intrínsecos (la geometría del terreno, la resistencia de los materiales, los estados de esfuerzo, el drenaje superficial y subterráneo, y el tipo de cobertura del terreno) y los detonantes o disparadores de estos eventos son la sismicidad y la precipitación pluvial.

Zonas críticas: Son zonas o áreas con peligros potenciales de acuerdo a la vulnerabilidad asociada (infraestructura y centros poblados), que muestran una recurrencia, en algunos casos, entre periódica y excepcional. Algunas pueden presentarse durante la ocurrencia de lluvias excepcionales y puede ser necesario considerarlas dentro de los planes o políticas nacionales, regionales y/o locales sobre prevención y atención de desastres.

3. ASPECTO GEOLÓGICO

La descripción geológica se desarrolló en base al Boletín N° 54 Serie A, Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada. Seca, Zorritos, Tumbes, Zarumilla (Palacios Moncayo, 1994); y el reciente cartografiado geológico integrado a escala 1:50 000, versión 2021 (Ingemmet, 2021); complementados y validados con trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales, y fotogrametría con dron para caracterizar y delimitar las diferentes unidades litológicas considerando su grado de resistencia y susceptibilidad a procesos de remoción en masa (Mapa 1).

3.1. Unidades litoestratigráficas

Corresponden a secuencias sedimentarias poco consolidadas del Paleógeno-Eoceno (Formaciones Chira y Mirador) y del Cuaternario-Pleistoceno (Formación Tablazo Talara); coberturadas por depósitos cuaternarios originados por eventos de remoción en masa (coluvial, coluvio-deluvial y proluvial) y por procesos marinos y antropógenos.

3.1.1. Formación Chira (Pe-chi)

Está conformada por limos y arcillas color pardo - verdoso de aspecto moteado y masivo en estratos gruesos, en la zona evaluada se presenta en las partes más bajas, donde se presentan en estados muy fracturados y altamente meteorizados (Fotografía 1) con abundante fauna fósil marina (Fotografía 2).

Sus discontinuidades están rellenas con arcillas sueltas o están abiertas, por lo que su Índice de Resistencia Geológica es muy bajo (GSI de 24) (Gráfico 2).



Fotografía 1. Vista de un macizo de la Formación Chira, en el sector AH Hermanos Cárcamo.
Ubicación: E: 488249; N: 9437330; Z: 56.



Fotografía 2. Detalle de una muestra de las lutitas de la Formación Chira en el sector Jr. Junín C9, con rastros de fósiles marinos. **Ubicación:** E: 488361; N: 9437901; Z: 21.

3.1.2. Formación Mirador (Pe-m)

Lo conforman conglomerados con clastos redondeados intercalado con areniscas que presenten a superficies endurecidas, presenta fragmentos de conchas y turrítelas en los niveles conglomeráticos; en la zona de estudio se presentan en estratos medianamente fracturados y moderadamente meteorizados (Fotografía 3).

Sus discontinuidades son rugosas o tienen rellenos de arenas, por lo que su Índice de Resistencia Geológica es regular (GSI de 50) (Gráfico 2).



Fotografía 3. Vista de un macizo de conglomerados de la Formación Mirador, en el sector AH Hermanos Cárcamo. **Ubicación:** E: 488364; N: 9437426; Z: 62.

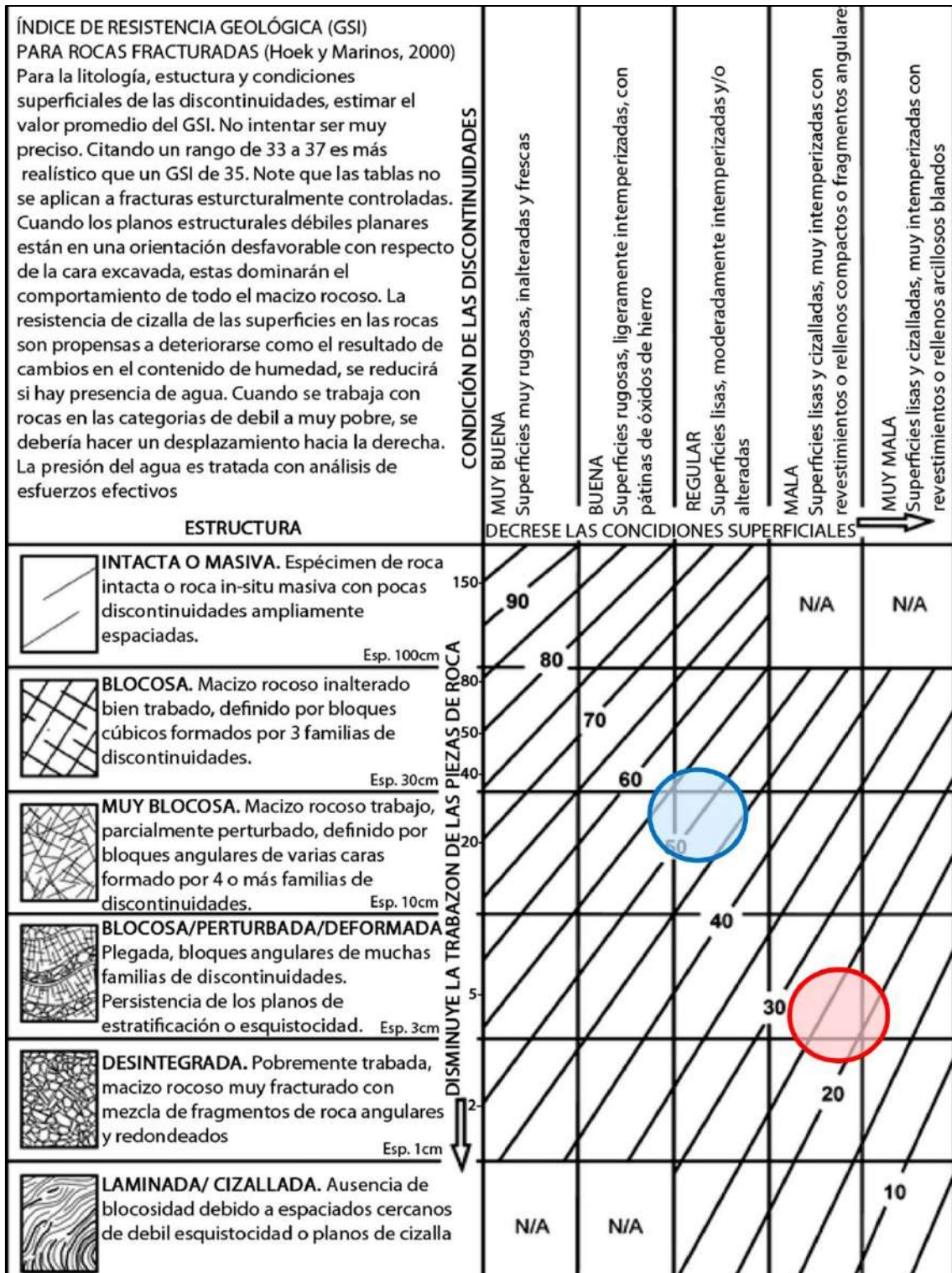


Gráfico 2. Estructura y calidad de las discontinuidades de los macizos rocosos de la Formación Chira (en rojo), GSI promedio de 24 y de la Formación Mirador (en azul), GSI promedio de 50. **Fuente:** Tabla del Índice Geológico de Resistencia GSI (Hoek, 2007).

3.1.3. Formación Tablazo Talara (Qp-tt)

Esta unidad lo conforman extensas planicies paralelas a la costa, constituido por arenas cuarzosas de grano grueso en matriz calcárea ligeramente compactas; en la zona se ubica en la planicie superior y corresponden extensos terrenos llanos donde se ha asentado parte de la ciudad (Fotografía 2).



Fotografía 4. Vista desde un dron de las extensas llanuras que conforman a la Formación Tablazo Talara.

3.1.2. Depósitos cuaternarios

Depósito coluvial (Q-cl)

Son depósitos de suelos acumulados por movimientos en masa desencadenados y movilizados por acción de la gravedad, por lo que sus fragmentos rocosos son de composición homogénea y de poco recorrido; en la zona evaluada se ubican a lo largo de las laderas con eventos de caída de rocas y derrumbes (Fotografía 5).



Fotografía 5. Depósito coluvial en el sector Jr. Junín C9. **Ubicación:** E: 488398; N: 9437936; Z: 21.

Depósito coluvio-deluvial (Q-cd)

Son depósitos de suelos acumulados por diversos movimientos en masa, donde el principal agente de transporte ha sido la gravedad y la sobresaturación de los materiales; su composición va de bloques angulosos a sub redondeados de poco transporte, en una matriz de arcillas y limos. Se tienen diversos sectores con movimientos en masa activos (Fotografía 6), mostrando una granulometría muy heterogénea.



Fotografía 6. Sector PJ Nueva Esperanza, donde son abundantes los depósitos coluvio-deluviales debido a procesos de movimientos en masa.

Depósito proluvial (Q-pr)

Son depósitos de suelos acarreados por flujos torrenciales estacionales, su granulometría se compone principalmente por materiales finos (arcillas y limos) de mediana a alta plasticidad, en la zona evaluada se ubican en los fondos de los valles donde los flujos de detritos acumulan materiales periódicamente (Fotografía 7).



Fotografía 7. Depósito proluvial reciente en el sector PJ San Martín Central.

Depósito marino (Q-m)

Son depósitos de arenas bien gradadas y con poco contenido de finos o gravas en la línea costera por acción de las olas y mareas, en la zona se ubican frente al océano Pacífico, formando una playa utilizada como recreación por los pobladores locales (Fotografía 8)

Depósito antropógeno (Q-an)

Corresponde a terrenos ganados por el hombre dentro del océano Pacífico, con el fin de edificar estructuras portuarias (Fotografía 8), están conformados por suelos de diversa granulometría, bien compactados.



Fotografía 8. Vista al límite costero de Paita, donde se aprecian depósitos marinos a la izquierda (playa) y antropógenos a la derecha (muelle portuario).

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Además de la cartografía regional de geomorfología, a escala 1:250 000 del boletín de riesgos geológicos de la región Piura, se utiliza imágenes y modelos digitales de elevación detallados obtenidos de levantamientos fotogramétricos con dron, desarrollados en octubre del 2022, lo cual permitirá estudiar el relieve, pendientes y demás características; con el fin de describir subunidades a detalle (escala 1/5 000).

4.1. Modelo digital de elevaciones (MDE)

La zona evaluada presenta altitudes que van desde del nivel del mar (0 m) hasta elevaciones de 91 m, en los cuales se distinguen cinco niveles altitudinales (Figura 3), con la finalidad de visualizar la extensión con respecto a la diferencia de alturas; el área con mayor pendiente corresponde a terrenos entre altitudes 40 y 80 m, con pendiente promedio de escarpada a muy escarpada (mayor a 25°), correspondiendo los depósitos coluviales y coluvio-deluviales y a una geoforma de vertiente coluvial de detritos y vertiente coluvio-deluvial.

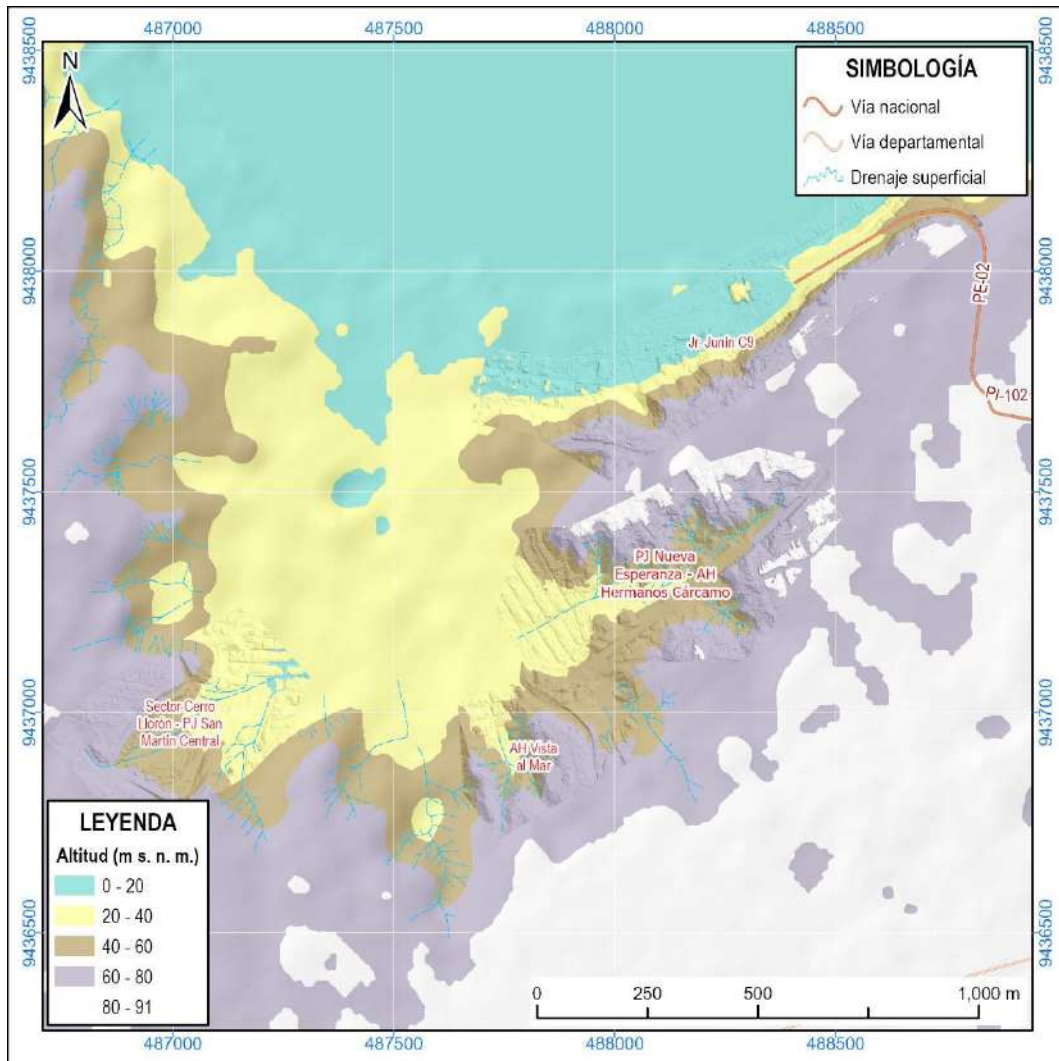


Figura 3. Modelo digital de elevaciones de la zona evaluada.

4.2. Pendiente del terreno

Las pendientes de los terrenos van desde pendientes llanas ($<1^\circ$) a escarpadas (25° a 45°) y muy escarpadas ($>45^\circ$), tal como se aprecia en el mapa 2; los movimientos en masa se han generado en estos últimos (Fotografía 9), debido a la mayor inestabilidad de los materiales geológicos por esta geometría de las laderas.



Fotografía 9. Ladera con pendiente muy escarpada ($>45^\circ$) de pendiente en el sector Jr. Junín C9 (izquierda) y con pendiente escarpada (25° a 45°) en el sector PJ Nueva Esperanza (derecha).

4.3. Unidades Geomorfológicas

De acuerdo a su origen, se distinguen geoformas tanto de carácter tectónico degradacional y erosional (colina en roca sedimentaria), como de carácter deposicional y agradacional (Vertiente coluvial de detritos, vertiente coluvio-deluvial, piedemonte proluvial, llanura o planicie aluvial, depósito antrópico y terraza marina); las geoformas se grafican en la Figura 4 y en el Mapa 3.

4.3.1. Geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional

Unidad de Colinas y Lomadas

Corresponde a las geoformas con alturas menores a los 300 m respecto al nivel de base local; las colinas tienen laderas superiores a los 16% y divergen en todas direcciones a partir de la cima; mientras las lomadas tienen cimas más amplias, redondeadas y alargadas, con gradientes entre 8% y 16 % (Villota, 2005).

- **Sub unidad de colina en rocas sedimentarias (M-rs)**

Representan los terrenos inclinados con relieve erosionado y de escasa vegetación que tienen como sustrato rocoso a rocas sedimentarias poco compactadas, en el caso de Paita.

4.3.2. Geoformas de carácter deposicional y agradacional

Son el resultado del conjunto de procesos geomorfológicos constructivos determinados por fuerzas de desplazamiento y por agentes móviles; tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra mediante el depósito de materiales sólidos resultante de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de Piedemonte

- **Subunidad de vertiente coluvial de detritos (V-d)**

Conforman conos de detritos en las faldas de las colinas con procesos de remoción en masa, su granulometría es de bloques y gravas con pocos finos, muy angulosos y poco redondeados, por el poco transporte sufrido.

- **Subunidad de vertiente coluvio-deluvial (V-cd)**

Corresponde a terrenos originados por la acumulación de materiales removidos por acción de la gravedad y sobresaturación, por lo que su granulometría está representada por un mayor porcentaje de suelos arenosos y finos, más que bloques y gravas.

- **Subunidad de piedemonte proluvial (V-cd)**

Se ubican en el fondo de los valles donde los materiales arrastrados por flujos torrenciales se van acumulando y formando terrenos de pendiente moderada a llana.

Unidad de planicies

- **Subunidad de llanura o planicie aluvial (PI-al)**

Corresponde a amplios terrenos con pendiente llana que se han formado por la acumulación de suelos bien gradados secuenciales recientes.

Unidad de Geoformas costero marina

- **Subunidad de terraza marina (T-m)**

Son los terrenos con pendiente suave a llana que se ubican frente al mar que se han formado por la constante acumulación de materiales granulares por acción de las olas y mareas marinas.

Unidad de geoformas particulares

- **Subunidad de depósito antrópico (Dan)**

Corresponde a las superficies creadas artificialmente con fines de habitación urbana o industrial.



Figura 4. Vista de las geoformas de la ciudad de Paíta.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

La ciudad de Paita está asentada sobre una sucesión de formaciones rocosas sedimentarias de muy poca compactación y madurez tectónica (Formaciones Chira, Mirador y Tablazo Talara), por lo que son muy susceptibles a procesos de remoción en masa; sumado a la alta presencia de surgencias de agua subterránea y a la expansión urbana sin un control adecuado, hacen que sean constantes eventos de caídas (derrumbes), flujos (flujos de detritos) y erosiones en ladera (erosión en cárcavas).

En total, se han cartografiado 8 derrumbes (113 381 m²), 20 zonas con erosión en cárcava (246 188 m²) y 14 zonas con flujos de detritos (111 658 m²), tal como se aprecia en la figura 5 y en el mapa 4.

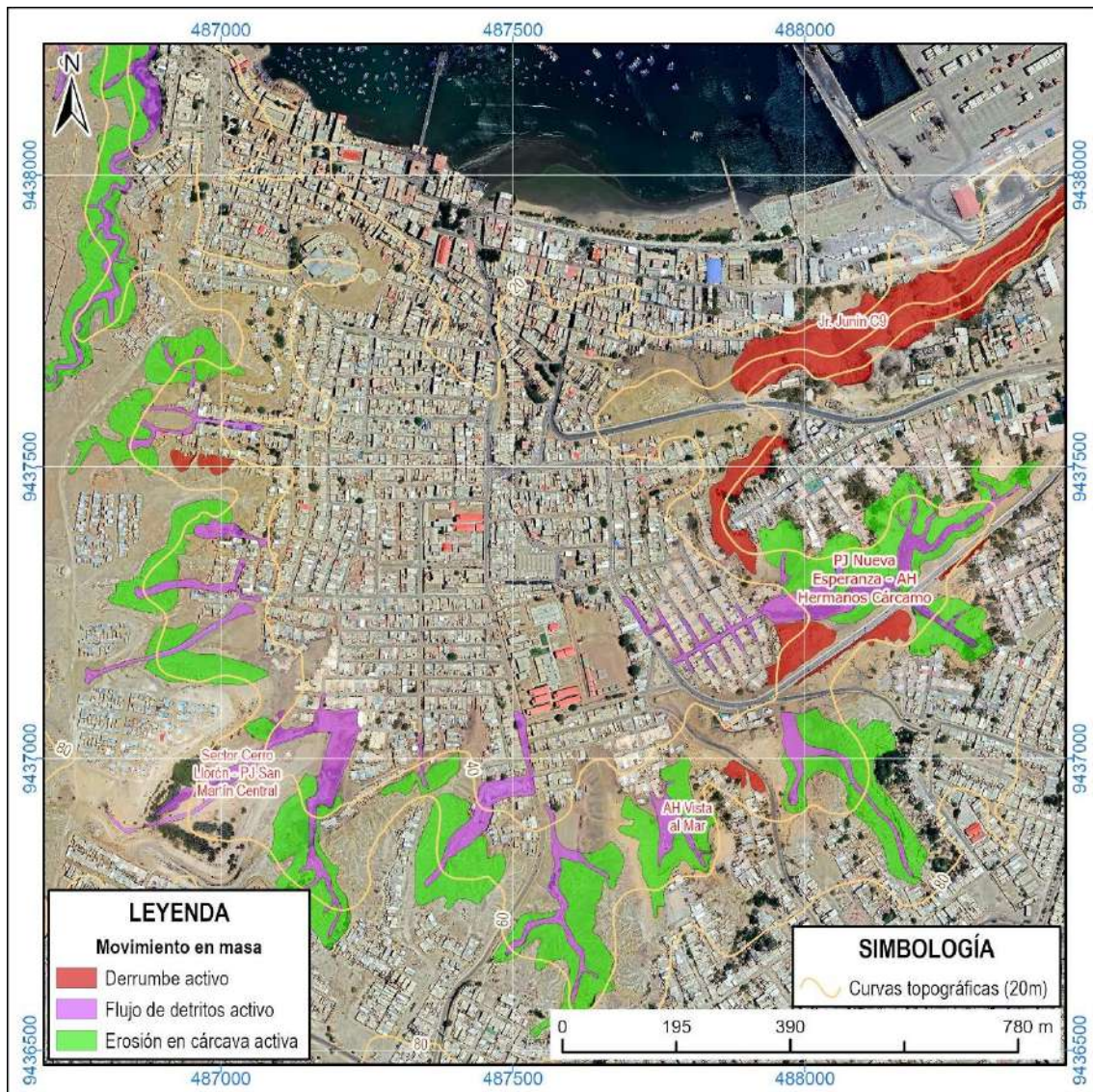


Figura 5. Movimientos en masa cartografiados en la ciudad de Paita: derrumbes, flujos de detritos y erosión en cárcavas.

En la figura 6 se muestra un bloque diagrama esquematizado tipo de los movimientos en masa que ocurren en los sectores de Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central de la ciudad de Paita:

- Se aprecian las dos zonas llanas distintivas, una superior y otra inferior, donde se han asentado las viviendas y demás infraestructuras públicas y privadas, en todos los sectores evaluados.
- Entre las zonas llanas existe una ladera con pendiente escarpada (de 25° a 45°) a muy escarpada (>45°) en donde ocurren derrumbes (sectores Jr. Junín cuadra 9, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo y Asentamiento Humano Vista al Mar).
- Los procesos de erosión en cárcava acarrean materiales sueltos que luego son arrastrados por escorrentías producto de fuertes precipitaciones (Asociados al fenómeno El Niño), generando flujos de detritos que llegan a impactar en la población. (sectores Pueblo Joven Nueva esperanza, Pueblo Joven 13 e Julio y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central)
- Las zonas con derrumbes suelen estar aisladas de otros tipos de movimientos en masa y pueden desencadenarse tanto en épocas de lluvias intensas como en estiaje, incluso se ha reportado la activación de estas zonas en eventos de sismicidad fuerte (sector Jr. Junín cuadra 9).
- Existen zonas de surgencias de aguas subterráneas (Figura 7 y figura 8) que ayudan a desencadenar los diversos procesos de remoción en masa, estas zonas casi siempre se producen entre el contacto de las formaciones Chira (lutitas y limolitas) y Mirador (areniscas y conglomerados); la fuente podría ser las lagunas de oxidación de Paita (Figura 9) o fallas en el mismo sistema de desagüe.
- Los movimientos en masa están afectando viviendas asentadas en la llanura superior como en la inferior. Alrededores del acantilado.

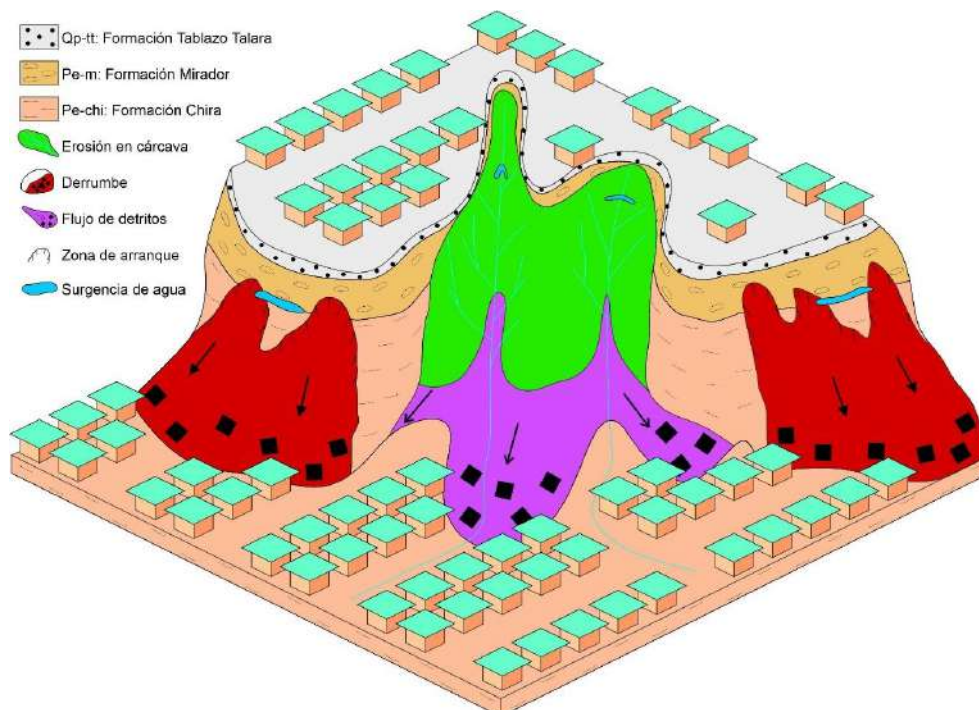


Figura 6. Diagrama esquemático de los procesos de remoción en masa que están ocurriendo en la ciudad de Paita.

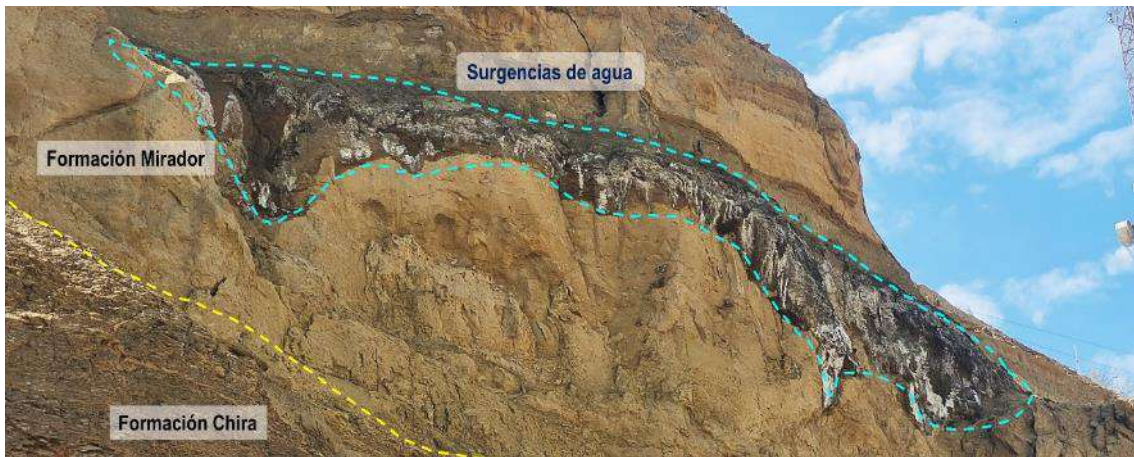


Figura 7. Surgencia de agua en el sector Jr. Junín C9.



Figura 8. Surgencia de agua en el sector PJ Nueva Esperanza.



Figura 9. Distancia entre las lagunas de oxidación de Paita y las surgencias de agua en el Cerro Llorón, sector PJ San Martín Central.

A continuación, se describen los sectores más críticos de Paita.

5.1. Sector Jr. Junín C9

5.1.1. Descripción de los movimientos en masa

El Jr. Junín cuadra 9 constituye una de las principales rutas de acceso a la parte baja de la ciudad de Paita, en especial para el Muelle, además es ruta esencial de evacuación en situaciones de emergencia; sin embargo, tiene un talud con pendiente muy escarpada ($>45^\circ$) lugar de permanentes derrumbes de rocas y suelos (Figura 10).

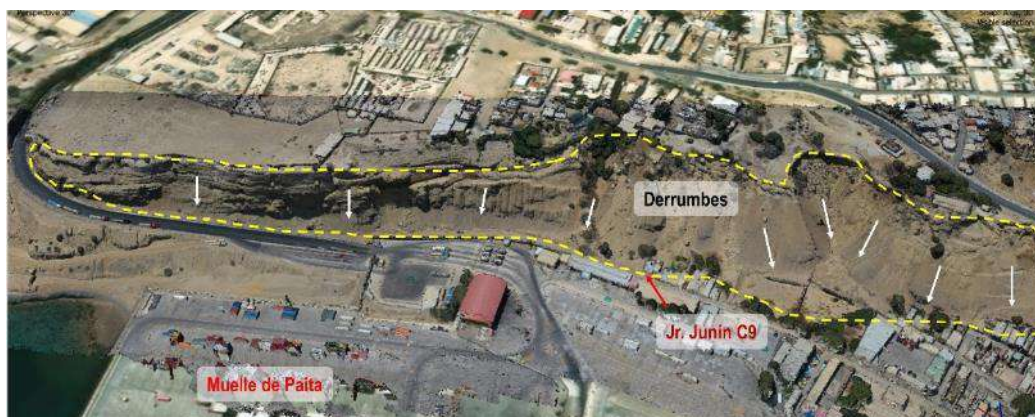


Figura 10. Vista del talud inestable del Jr. Junín C9.

En la figura 11 se muestra el límite entre la ladera y el Jr. Junín C9, lugar de acumulación de los materiales en remoción, por lo que las autoridades tienen que realizar constantes trabajos de mantenimiento, debido a la ausencia de medidas estructurales de control de riesgos definitivas.

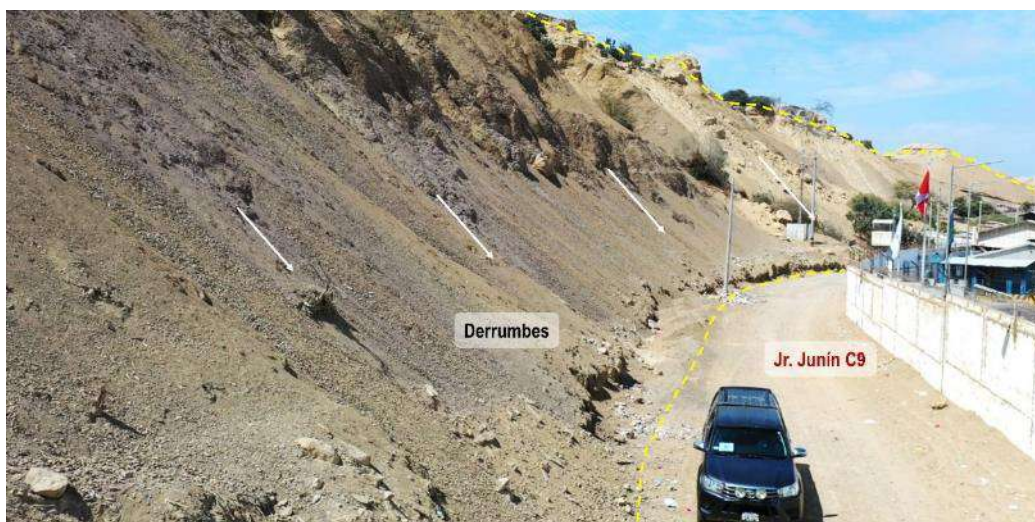


Figura 11. Derrumbes en el Jr. Junín C9, vista hacia el oeste.

En la figura 12 se muestra una vista de la parte superior de los derrumbes del Jr. Junín C9, evidenciando la cercanía a viviendas expuestas y bloques de rocas recientes desprendidos del talud, a punto de desplazarse ladera abajo en caso de producirse lluvias intensas o eventos sísmicos fuertes.

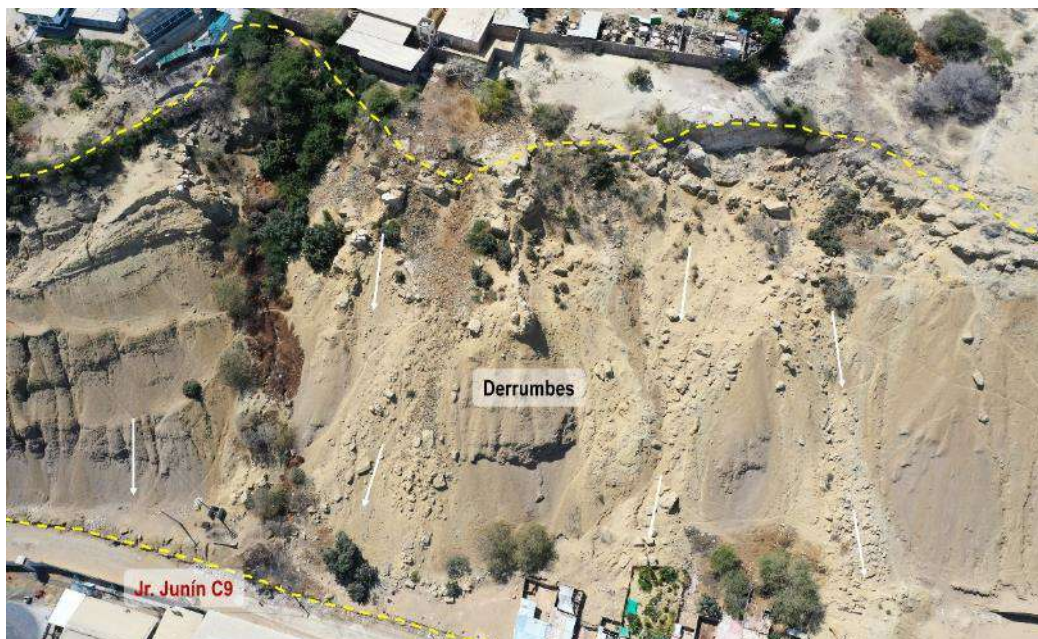


Figura 12. Derrumbes en el Jr. Junín C9, vista hacia el sur.

5.1.2. Características visuales y morfométricas – derrumbe Jr. Junín C9

- Tipo de movimiento: Derrumbe
- Estado: Activo
- Estilo: Múltiple (varios derrumbes en la zona inestable)
- Velocidad: Muy rápido.
- Composición: Suelos gravosos bien gradados (GW); compuestos por bloques (5%), cantos (10%), gravas (65%), gránulos (10%), arenas (5%) y limos (5%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal, angulosos (Cuadro 3).
- Deformación del terreno: Escalonado

Morfometría:

- Área: 63 692 m²
- Perímetro: 2 407 m
- Diferencia de alturas corona a la punta: 46 m
- Longitud horizontal corona a punta: 35 m
- Ángulo de corona a punta: 52.7°
- Dirección del movimiento: N315°
- Ancho de la superficie de falla: 1 025 m
- Forma de la escarpa: irregular.
- Los depósitos forman conos

Cuadro 3. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 488367; N: 9437908; Z: 20

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL				GRANULOMETRÍA (%)		FORMA		REDONDES	
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	5	Bolos	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado
<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	10	Cantos	<input checked="" type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Sub redondeado
<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	65	Gravas	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input checked="" type="checkbox"/>	Anguloso
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	10	Gránulos	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input type="checkbox"/>	Sub anguloso
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	5	Arenas				
<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	5	Limos				
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar		Arcillas				

PLASTICIDAD		ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Masiva	<input type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica	<input type="checkbox"/>	Intrusivos
<input type="checkbox"/>	Med. plasticidad	<input type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input checked="" type="checkbox"/>	Baja plasticidad	<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input checked="" type="checkbox"/>	Áspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Metamórficos
<input type="checkbox"/>	No plástico							<input checked="" type="checkbox"/>	Sedimentarios

COMPACIDAD				CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS FINOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
Limos y Arcillas		Arena	Gravas	X	GW		SW
<input type="checkbox"/>	Blanda	<input type="checkbox"/>	Suelta	<input checked="" type="checkbox"/>	GP		SP
<input type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa		GM		SM
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa		GC		SC
							ML
							CL
							OL
							PT
							MH
							CH
							OH

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por lutitas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas (Formación Chira) y conglomerados y areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador).
- Ladera de pendiente muy escarpada (>45°), que conforman geoformas de vertientes coluviales de detritos.
- Surgencias de aguas subterráneas.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad muy fuerte.
- Sismos de fuerte intensidad.

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- 9 viviendas afectadas.
- 690 m de la vía Jr. Junín afectados.

5.2. Sector PJ Nueva Esperanza – AH Hermanos Cárcamo – PJ 13 de Julio

5.2.1. Descripción de los movimientos en masa

Corresponde a la congruencia del Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo y Pueblo Joven 13 de Julio, en donde se vienen produciendo derrumbes, erosiones en cárcavas y flujos de detritos, los cuales afectan viviendas y vías de comunicación del lugar (Figura 13).



Figura 13. Vista de la congruencia del Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo y Pueblo Joven 13 de Julio, donde se producen diversos movimientos en masa.

El Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo tiene un talud frente a la vía principal con una pendiente muy escarpada ($>45^\circ$) donde son comunes los derrumbes que afectan la vía, además la zona de arranque se encuentra a pocos metros de las viviendas asentadas en la parte superior (Figura 14).

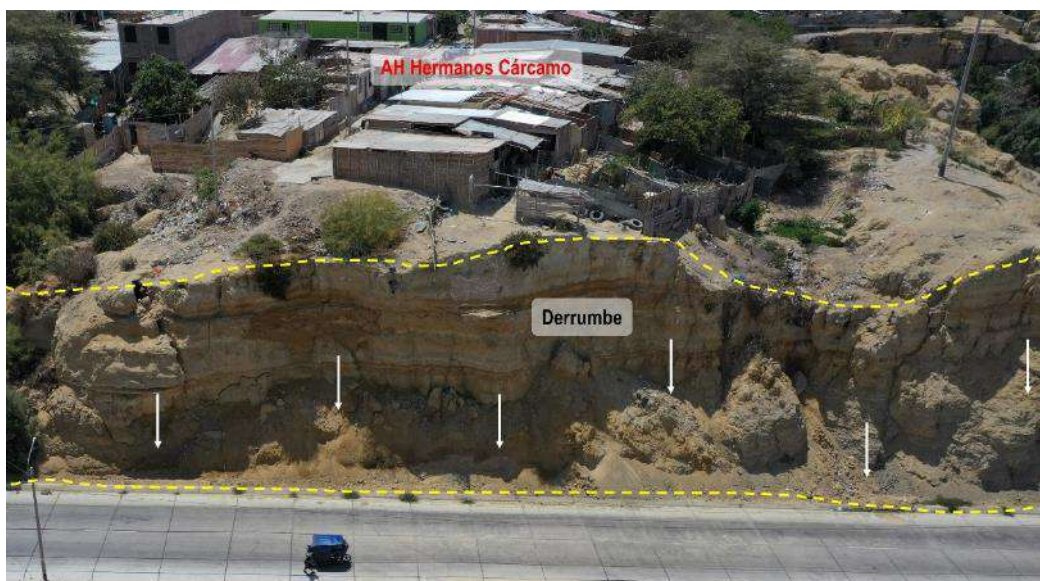


Figura 14. Zona de derrumbes en el AH Hermanos Cárcamo.

El Pueblo Joven Nueva Esperanza se ubica cerca de diversos procesos de erosión en cárcava que vienen desestabilizando las laderas, muy cerca de viviendas, además existen surgencias de agua que combinadas a las escorrentías producto de lluvias intensas (fenómeno El Niño) generan flujos de detritos que son derivados al Pueblo Joven 13 de Julio (Figura 15).



Figura 15. Vista de los sectores con erosión en cárcava del PJ Nueva Esperanza y el flujo de detritos que afecta al PJ 13 de Julio.

5.2.2. Características visuales y morfométricas – derrumbe AH Hermanos Cárcamo

- Tipo de movimiento: Derrumbe
- Estado: Activo
- Estilo: Múltiple
- Velocidad: Muy rápido
- Composición: Suelos gravosos bien gradados (GW); compuestos por bloques (5%), cantos (10%), gravas (40%), gránulos (10%), arenas (30%) y limos (5%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal, angulosos (Cuadro 4).
- Deformación del terreno: Escalonado

Morfometría:

- Área: 4 261 m²
- Perímetro: 797 m
- Diferencia de alturas corona a la punta: 13 m
- Longitud horizontal corona a punta: 8 m
- Ángulo de corona a punta: 58.4°
- Dirección del movimiento: N320°
- Ancho de la superficie de falla: 111 m
- Forma de la escarpa: irregular.
- Los depósitos forman conos

Cuadro 4. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 488267; N: 9437344; Z: 56

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA	REDONDES		
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Esférica	<input type="checkbox"/>	Redondeado
<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	<input checked="" type="checkbox"/>	Discoidal	<input type="checkbox"/>	Sub redondeado
<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	<input type="checkbox"/>	Laminar	<input checked="" type="checkbox"/>	Anguloso
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica	<input type="checkbox"/>	Sub anguloso
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial				
<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral				
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar				
		5	Bolos				
		10	Cantos				
		40	Gravas				
		10	Gránulos				
		30	Arenas				
		5	Limos				
			Arcillas				

PLASTICIDAD	ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	% LITOLOGÍA
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alta plasticidad	Masiva	Harinoso	Materia orgánica	Intrusivos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Med. plasticidad	Estratificada	Arenoso	Carbonatos	Volcánicos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Baja plasticidad	Lenticular	Áspero	Sulfatos	Metamórficos
<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
No plástico				Sedimentarios

COMPACIDAD			CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
Limos y Arcillas	Arena	Gravas	<input checked="" type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	SW
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	SP
Blanda	Suelta	Suelta	<input type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SM
<input type="checkbox"/>	Densa	Med. consolidada	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	SC
Compacta	Muy Densa	Consolidada			<input type="checkbox"/>	ML
<input type="checkbox"/>		Muy consolidada			<input type="checkbox"/>	CL
Dura					<input type="checkbox"/>	OL
					<input type="checkbox"/>	PT
					<input type="checkbox"/>	MH
					<input type="checkbox"/>	CH
					<input type="checkbox"/>	OH

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por lutitas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas (Formación Chira) y conglomerados y areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador).
- Ladera de pendiente muy escarpada (>45°), que conforman geoformas de vertientes coluviales de detritos.
- Surgencias de aguas subterráneas.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad muy fuerte.
- Sismos de fuerte intensidad.

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- 3 viviendas afectadas.
- 90 m de la vía Jr. Junín afectados.

5.2.3. Características visuales y morfométricas – erosión en cárcava PJ Nueva Esperanza

- Tipo de movimiento: Erosión en cárcava
- Estado: Activo
- Estilo: Múltiple
- Velocidad: Muy Rápido
- Composición: Suelos gravosos bien gradados (GW); compuestos por bloques (5%), cantos (10%), gravas (45%), gránulos (10%), arenas (25%) y limos (5%); sus clastos gruesos son angulosos (Cuadro 5).
- Deformación del terreno: Escalonado
- Peligro secundario en cabecera: Derrumbes

5.2.4. Características visuales y morfométricas – flujo de detritos PJ 13 de Julio

- Tipo de movimiento: Flujo de detritos
- Estado: Activo
- Velocidad: Muy rápido
- Composición: Suelos arcillosos de baja plasticidad (CL); compuestos por bloques (5%), cantos (10%), gravas (40%), gránulos (10%), arenas (15%), limos (20%) y arcillas (35%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal y subredondeados (Cuadro 6).
- Deformación del terreno: Ondulado

Morfometría:

- Área: 20 809 m²
- Perímetro: 3 207 m
- Altura del depósito: 3 m
- Alcance máximo: 675 m
- Angulo del terreno, de la superficie del recorrido: 2.2°
- Dirección del movimiento: N248°
- Ancho del cauce de la quebrada: 78 m

Cuadro 6. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 488047; N: 9437260; Z: 36

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA		REDONDES	
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	5 Bolos	<input type="checkbox"/>	Redondeado
<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	<input checked="" type="checkbox"/>	5 Cantos	<input checked="" type="checkbox"/>	Sub redondeado
<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	<input type="checkbox"/>	10 Gravas	<input type="checkbox"/>	Anguloso
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	<input type="checkbox"/>	10 Gránulos	<input type="checkbox"/>	Sub anguloso
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial	<input type="checkbox"/>	15 Arenas		
<input checked="" type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral	<input type="checkbox"/>	20 Limos		
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar	<input type="checkbox"/>	35 Arcillas		

PLASTICIDAD		ESTRUCTURA		TEXTURA		CONTENIDO DE		% LITOLOGÍA	
<input type="checkbox"/>	Alta plasticidad	<input type="checkbox"/>	Masiva	<input checked="" type="checkbox"/>	Harinoso	<input type="checkbox"/>	Materia orgánica	<input type="checkbox"/>	Intrusivos
<input checked="" type="checkbox"/>	Med. plasticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	Estratificada	<input type="checkbox"/>	Arenoso	<input type="checkbox"/>	Carbonatos	<input type="checkbox"/>	Volcánicos
<input type="checkbox"/>	Baja plasticidad	<input type="checkbox"/>	Lenticular	<input type="checkbox"/>	Áspero	<input type="checkbox"/>	Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Metamórficos
<input type="checkbox"/>	No plástico							<input checked="" type="checkbox"/>	Sedimentarios

COMPACIDAD				CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS FINOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
Limos y Arcillas		Arenas		Gravas			
<input type="checkbox"/>	Blanda	<input type="checkbox"/>	Suelta	<input type="checkbox"/>	Suelta	<input type="checkbox"/>	ML
<input checked="" type="checkbox"/>	Compacta	<input type="checkbox"/>	Densa	<input type="checkbox"/>	Med. consolidada	<input checked="" type="checkbox"/>	CL
<input type="checkbox"/>	Dura	<input type="checkbox"/>	Muy Densa	<input type="checkbox"/>	Consolidada	<input type="checkbox"/>	OL
				<input type="checkbox"/>	Muy consolidada	<input type="checkbox"/>	PT
							MH
							CH
							OH

Factores condicionantes

- Suelos arcillosos de baja plasticidad y poco compactados de origen coluvio-deluvial.
- Ladera de pendiente suave (1°-5°), que conforman geoformas de piedemonte proluvial.
- Surgencias de aguas subterráneas.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad muy fuerte.

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- 50 viviendas afectadas.
- 200 m de vías locales.

5.3. Sector AH Vista al Mar

5.3.1. Descripción de los movimientos en masa – AH Vista al Mar

En el Asentamiento Humano Vista al Mar se presentan derrumbes, erosiones en cárcavas y flujos de detritos, de igual manera se evidencia la presencia de surgencias de agua entre las formaciones Chira y Mirador, asimismo se documentó la afectación de viviendas tanto en la parte superior como inferior de la ladera (Figura 16).



Figura 16. Vista a los diversos movimientos en masa del sector AH Vista al Mar.

En la figura 17 se tiene un detalle a un derrumbe del Asentamiento Humano Vista al Mar, donde se aprecian bloques de areniscas y conglomerados colapsando ladera abajo debido a la alta pendiente y sobresaturación del terreno, afectando la vía y a las viviendas circundantes.



Figura 17. Vista a un derrumbe en el AH Vista al Mar que ha afectado a una vivienda y a la vía.

5.3.2. Características visuales y morfométricas – Derrumbe AH Vista al Mar

- Tipo de movimiento: Derrumbe
- Estado: Activo
- Estilo: Único
- Velocidad: Muy rápido
- Composición: Suelos gravosos bien gradados (GW); compuestos por bloques (15%), cantos (15%), gravas (35%), gránulos (15%), arenas (15%) y limos (5%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal, angulosos (Cuadro 3).
- Deformación del terreno: Escalonado

Morfometría:

- Área: 1 671 m²
- Perímetro: 260 m
- Diferencia de alturas corona a la punta: 13 m
- Longitud horizontal corona a punta: 16 m
- Ángulo de corona a punta: 39°
- Dirección del movimiento: N42°
- Ancho de la superficie de falla: 78 m
- Forma de la escarpa: irregular
- Los depósitos forman conos

Cuadro 7. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 488367; N: 9437908; Z: 20

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA	REDONDES
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Redondeado
<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	<input checked="" type="checkbox"/>	Discoidal
<input checked="" type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	<input type="checkbox"/>	Laminar
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial		
<input type="checkbox"/>	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral		
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar		
		15	Bolos		
		15	Cantos		
		35	Gravas		
		15	Gránulos		
		15	Arenas		
		5	Limos		
			Arcillas		

PLASTICIDAD	ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	% LITOLÓGIA
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alta plasticidad	Masiva	Harinoso	Materia orgánica	Intrusivos
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Med. plasticidad	Estratificada	Arenoso	Carbonatos	Volcánicos
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Baja plasticidad	Lenticular	Áspero	Sulfatos	Metamórficos
<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>
No plástico				Sedimentarios

COMPACIDAD			CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.			
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS		SUELOS GRUESOS		SUELOS FINOS	
Limos y Arcillas	Arena	Gravas				
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	GW	<input type="checkbox"/>	ML
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GP	<input type="checkbox"/>	CL
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GM	<input type="checkbox"/>	SM
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GC	<input type="checkbox"/>	SC
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	PT
Blanda	Suelta	Suelta			<input type="checkbox"/>	MH
Compacta	Densa	Med. consolidada			<input type="checkbox"/>	CH
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Consolidada			<input type="checkbox"/>	OH
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Muy consolidada				

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por conglomerados y areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador).
- Ladera de pendiente escarpada (25°-45°), que conforman geoformas de vertientes coluviales de detritos.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad muy fuerte.
- Sismos de fuerte intensidad.

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- 2 viviendas afectadas.
- 70 m de vías locales.

5.4. Sector Cerro Llorón – PJ San Martín Central

5.4.1. Descripción de los movimientos en masa

En el cerro Llorón, ubicado en las partes altas del sector Pueblo Joven San Martín Central, es lugar de constantes derrumbes y flujos de detritos originados por abundantes surgencias de agua entre los estratos rocosos de diferente permeabilidad (Formaciones Chira y Mirador), así, los materiales saturados son removidos hasta el casco urbano de la parte baja del sector (Figura 18).

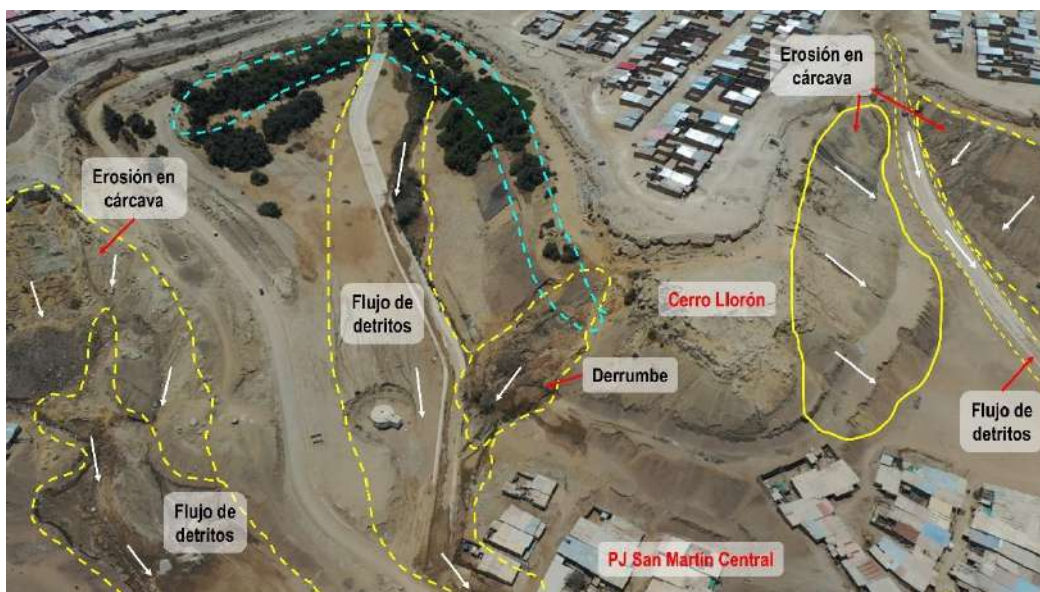


Figura 18. Vista del talud inestable del Jr. Junín C9.

En la Figura 19 se aprecia la parte superior del derrumbe del cerro Llorón, donde se aprecia al PJ San Martín Central afectado por flujos de detritos, en épocas de lluvias intensas.



Figura 19. Derrumbes en el Jr. Junín C9, vista hacia el oeste.

En la figura 20 se aprecia la parte final de la canalización de los flujos de detritos originados en el cerro Llorón, donde se aprecia que el mencionado canal finaliza en una tubería, que fácilmente se satura y no soporta la carga de sedimentos que arrastra el canal en temporadas lluvias intensas (Figura 20), llega a sobrepasar y el desborde afecta las viviendas del PJ San Martín Central.



Figura 20. Zona final de la canalización, donde los flujos de detritos del Cerro Llorón desbordan y afectan al PJ San Martín Central.

Las fuentes de estas escorrentías subterráneas podrían ser posibles fugas en las lagunas de oxidación de Paita (Fotografía 10), ubicadas a 730m del lugar, para lo cual se deberían realizar estudios geofísicos eléctricos verticales u otros ensayos para confirmar esta suposición.



Fotografía 10. Inspección a las lagunas de oxidación de Paita (a 730m del cerro Llorón) el día de la evaluación en campo.

5.4.2. Características visuales y morfométricas – Flujo de detritos Cerro Llorón PJ San Martín Central

- Tipo de movimiento: Flujo de detritos
- Estado: Activo
- Velocidad: Muy rápido
- Composición: Suelos arcillosos de baja plasticidad (CL); compuestos por bloques (5%), cantos (5%), gravas (5%), gránulos (5%), arenas (20%), limos (25%) y arcillas (35%); teniendo sus clastos gruesos forma discoidal, angulosos (Cuadro 8).
- Deformación del terreno: Ondulado

Morfometría:

- Área: 18 402 m²
- Perímetro: 2 437 m
- Altura del depósito: 2 m
- Alcance máximo: 423 m
- Ángulo del terreno, de la superficie del recorrido: 5.4°
- Dirección del movimiento: N51°
- Ancho del cauce de la quebrada: 25 m

Cuadro 8. Descripción de formaciones superficiales. **Ubicación:** E: 487161; N: 9437049; Z: 21

TIPO DE FORMACIÓN SUPERFICIAL		GRANULOMETRÍA (%)		FORMA	REDONDES
<input type="checkbox"/>	Eluvial	<input type="checkbox"/>	Lacustre	<input type="checkbox"/>	Redondeado
<input type="checkbox"/>	Deluvial	<input type="checkbox"/>	Marino	X	Discoidal
<input type="checkbox"/>	Coluvial	<input type="checkbox"/>	Eólico	<input type="checkbox"/>	Laminar
<input type="checkbox"/>	Aluvial	<input type="checkbox"/>	Orgánico	<input type="checkbox"/>	Cilíndrica
<input type="checkbox"/>	Fluvial	<input type="checkbox"/>	Artificial		
X	Proluvial	<input type="checkbox"/>	Litoral		
<input type="checkbox"/>	Glaciar	<input type="checkbox"/>	Fluvio glaciar		
		5	Bolos		
		5	Cantos		
		5	Gravas		
		5	Gránulos		
		20	Arenas		
		25	Limos		
		35	Arcillas		

PLASTICIDAD	ESTRUCTURA	TEXTURA	CONTENIDO DE	% LITOLOGÍA
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	X	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
X	X		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	X

COMPACIDAD		CLASIFICACIÓN TENTATIVA S.U.C.S.	
SUELOS FINOS	SUELOS GRUESOS	SUELOS GRUESOS	SUELOS FINOS
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GW	ML
X	<input type="checkbox"/>	GP	X
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GM	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	GC	

Factores condicionantes

- Litología y naturaleza incompetente de materiales, compuesto por lutitas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas (Formación Chira) y conglomerados y areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador).
- Ladera de pendiente moderada (5°-15°), que conforman geformas de piedemontes proluviales.
- Surgencias de aguas subterráneas.
- Ausencia de drenajes adecuados.

Factor detonante

- Precipitaciones pluviales de intensidad muy fuerte.

Daños ocasionados por el movimiento en masa

- 15 viviendas afectadas.
- 100 m vías afectadas.

6. CONCLUSIONES

- b. En la ciudad de Paita, distrito y provincia Paita, departamento Piura, se han cartografiado 8 derrumbes (113 381 m²), 20 zonas con erosión en cárcava (246 188 m²) y 14 zonas con flujos de detritos (111 658 m²).
- c. Los sectores más con mayor peligro evaluados han sido: Jr. Junín cuadra 9, Pueblo Joven Nueva Esperanza, Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo, Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar, Cerro Llorón y Pueblo Joven San Martín Central que han afectado a 2 viviendas y 8 hectáreas de terrenos de cultivo; donde se tienen, en total, 97 viviendas y 1 247 m de vías locales.
- d. Los movimientos en masa se han originado entre las por lutitas y limolitas muy fracturadas y altamente meteorizadas (Formación Chira) y conglomerados y areniscas medianamente fracturadas y moderadamente meteorizadas (Formación Mirador); estos eventos han generado depósitos coluviales, coluvio-deluviales y proluviales; también se han cartografiado depósitos marinos y antropógenos.
- e. Las geoformas de la zona corresponden a colinas en rocas sedimentarias, vertientes coluviales de detritos, vertientes coluvio-deluviales, piedemontes proluviales, llanuras o planicies aluviales, depósitos antrópicos y terrazas marinas.
- f. La pendientes de los terrenos van de llanas (<1°) en las planicies a escarpadas (25°-45°) y muy escarpadas (>45°) en las laderas con procesos de remoción en masa activos.
- g. El factor detonante fueron las precipitaciones pluviales intensas, sumado a las múltiples zonas con surgencias de aguas subterráneas.
- h. Las áreas de impacto por derrumbes, erosión en cárcavas y flujos de detritos, cartografiados en la ciudad de Paita, por las condiciones litológicas, geomorfológicas y geodinámicas, se considera a los sectores:
 - Jr. Junín Cuadra 9 – **Peligro Alto**
 - Asentamiento Humano Hermanos Cárcamo – **Peligro Alto**
 - Pueblo Joven Nueva Esperanza – **Peligro Alto a Muy Alto**
 - Pueblo Joven 13 de Julio – **Peligro Alto a Muy Alto**
 - Asentamiento Humano Vista al Mar – **Peligro Alto a Muy Alto**
 - Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín – **Peligro Muy Alto y Zona Crítica.**

7. RECOMENDACIONES

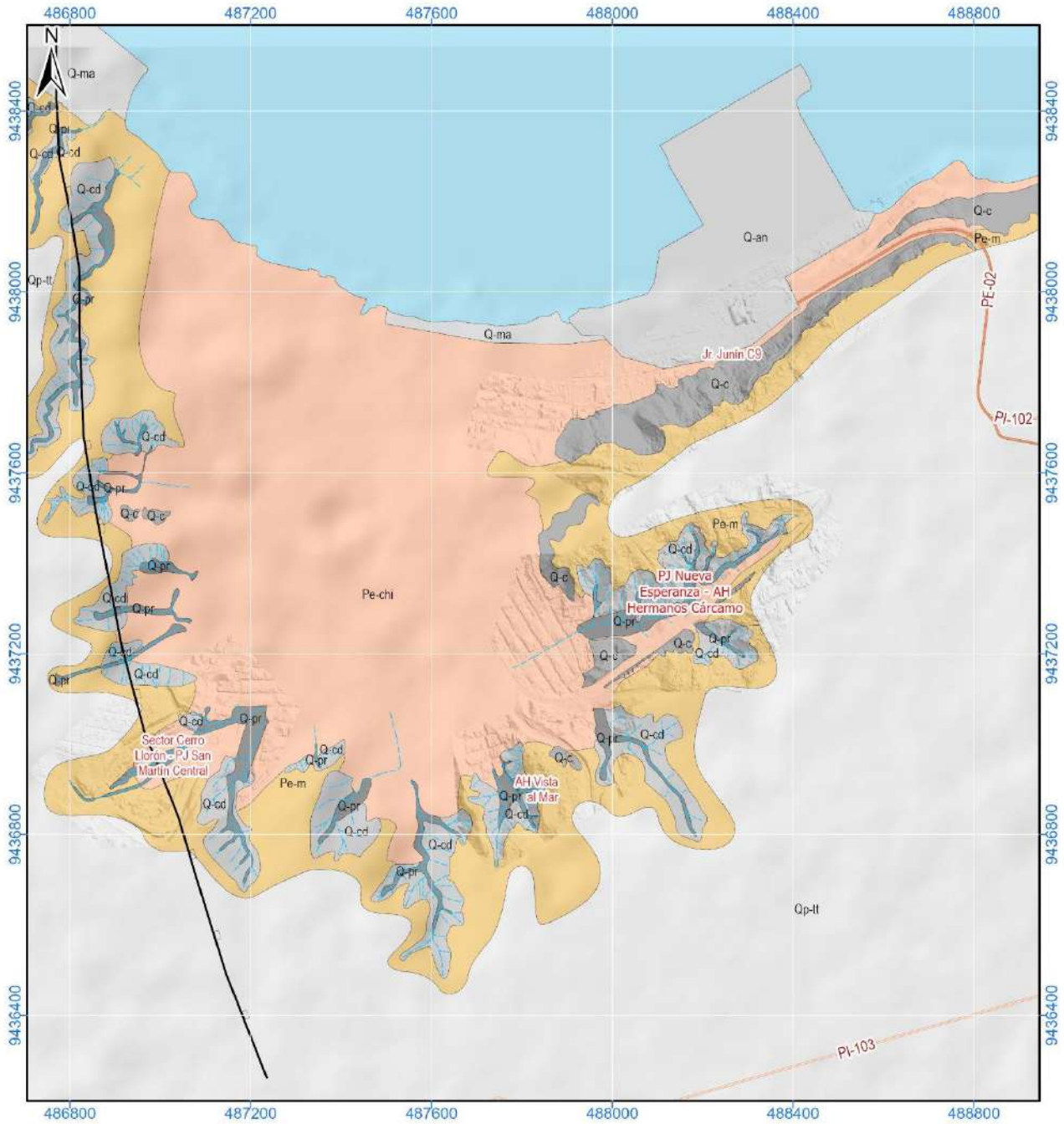
- a. Construir drenes de coronación sobre los derrumbes y erosiones en cárcavas evaluados, con una sección de concreto armado u otro material impermeable (como geomembranas o arcillas), a fin de evitar filtraciones (Anexo 2A – Figura 21), además de programar continuos trabajos de mantenimiento en estos.
- b. Reforestar las laderas de montaña con especies nativas y de raíces densas (Anexo 2b – figura 22 y fotografía 11).
- c. Reubicar las viviendas afectadas por los movimientos en masa en los sectores de Pueblo Joven 13 de Julio, Asentamiento Humano Vista al Mar y Sector Cerro Llorón – Pueblo Joven San Martín Central.
- d. Realizar estudios geofísicos para determinar las fuentes de aguas subterráneas que vienen desestabilizando las laderas.
- e. Prohibir la construcción de viviendas en zonas con alta susceptibilidad ante movimientos en masa.
- f. Elaborar evaluaciones de riesgo (EVAR) a detalle con el fin de determinar las medidas de control de riesgo definitivas necesarias.


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


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

8. BIBLIOGRAFÍA

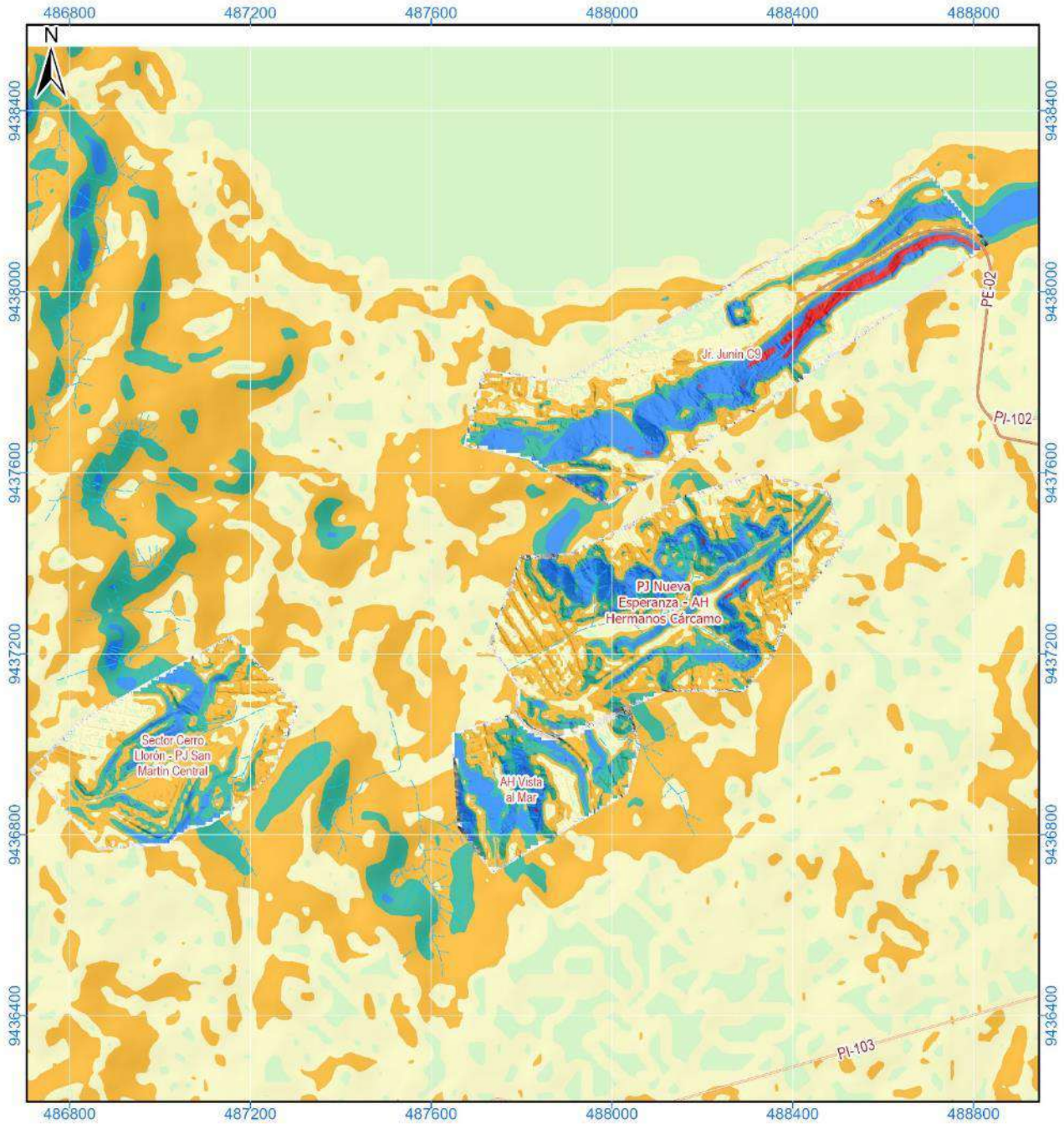
- Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). Landslides types and processes. *Landslides Investigation and Mitigation: Washington D.C, National Academy Press, Transportation Research Board Special Report, 247*, 36–75.
- INEI. (2018). *Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/index.htm
- Ingemmet. (2021). *Mapas geológicos integrados 50k ver 2021*. <https://geocatmin.ingemmet.gob.pe/geocatmin/>
- Palacios Moncayo, O. (1994). *Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada. Seca, Zorritos, Tumbes, Zarumilla. Hojas: 11-a, 11-b, 10-a, 10-b, 9-a, 9-b, 8-b, 8-c, y 7-c*. INGEMMET, Boletín N° 57, Serie A: *Carta Geológica Nacional*.
- PMA. (2007). *Movimientos en Masa en la Región Andina: Una Guía para la Evaluación de Amenazas* (1a ed.). Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas.
- Reyes Rivera, L., & Caldas Vidal, J. (1987). *Geología de los Cuadrángulos de Las Playas, La Tina, Las Lomas, Ayabaca, San Antonio, Chulucanas, Morropón, Huancabamba, Olmos y Pomahuaca* Boletín N° 39 Serie A. Ingemmet.
- Senamhi. (2014). *Umbrales y precipitaciones absolutas*.
- Senamhi. (2020). *Climas del Perú - Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- Suárez Díaz, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales* (Ltda, Ed.; 1a ed.). Publicaciones UIS.
- Suárez Díaz, J. (2007). *Deslizamientos - Técnicas de Remediación* (1a ed.). Erosion.com.
- Vílchez Mata, M. S., Luque Poma, G., & Rosado Seminario, M. (2013). *Riesgo geológico en la región Piura*. INGEMMET, Boletín N° 52, Serie C: *Geodinámica e Ing. Geológica*.
- Villota, H. (2005). *Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras* (2a ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.



SIMBOLOGÍA	
	Drenaje superficial
	Vía departamental
	Vía nacional
	Falla normal de bajo ángulo definida

LEYENDA	
	Océano Pacífico
	Q-an: Depósito antropógeno
	Q-m: Depósito marino
	Q-pr: Depósito proluvial
	Q-cp: Depósito coluvio-deluvial
	Q-c: Depósito coluvial
	Qp-tt: Formación Tablazo Talara
	Pe-m: Formación Mirador
	Pe-chi: Formación Chira

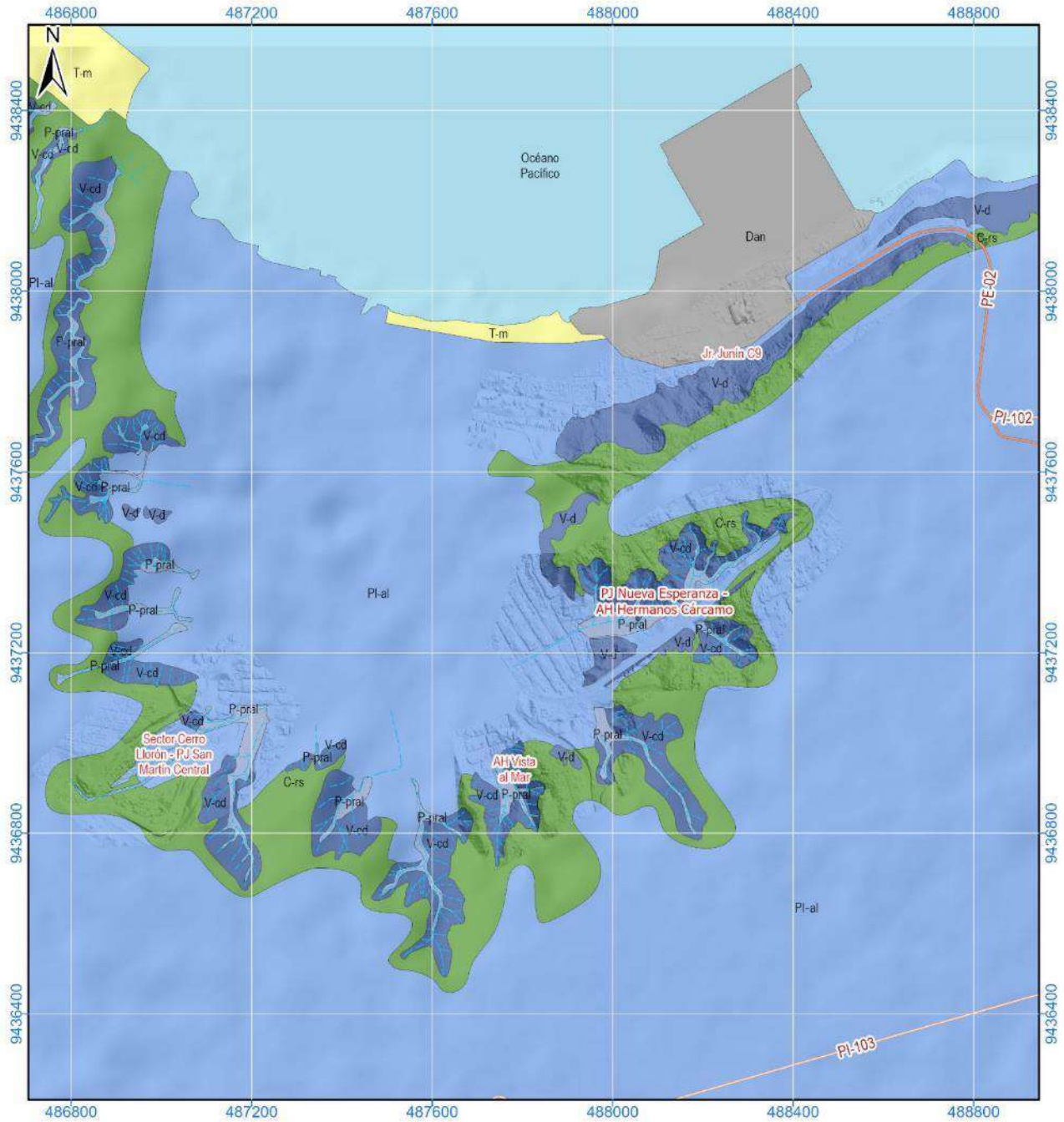
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL	
PIURA - PAITA - PAITA	
MAPA GEOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/14,000	Versión digital: 2022
MAPA 1	



SIMBOLOGÍA	
	Drenaje superficial
	Vía departamental
	Vía nacional

LEYENDA	
	<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

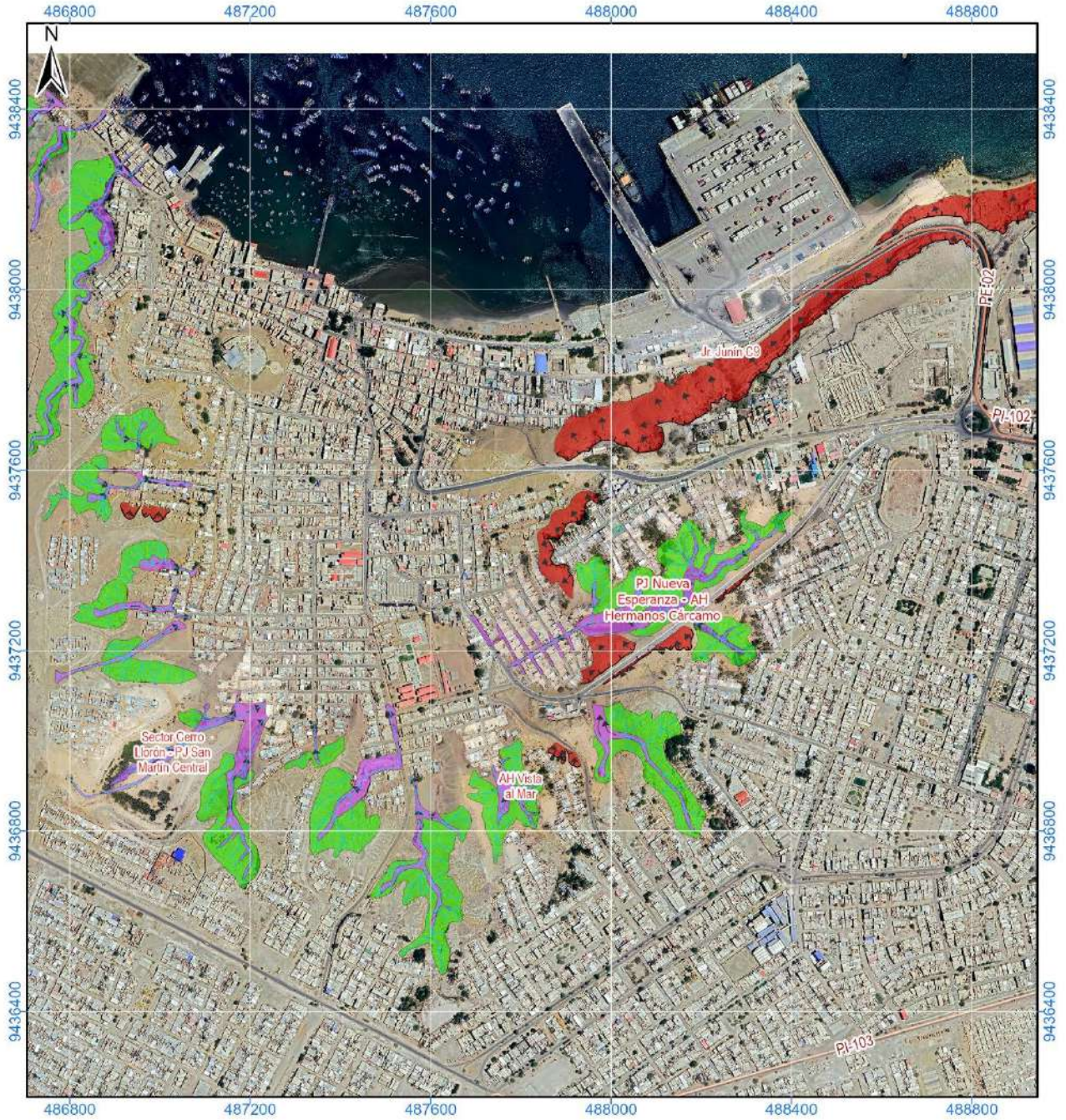
SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL PIURA - PAITA - PAITA	
MAPA DE PENDIENTES	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/14,000	Versión digital: 2022
MAPA 2	



SIMBOLOGÍA	
	Drenaje superficial
	Vía departamental
	Vía nacional

LEYENDA	
	C-rs: Colina en rocas sedimentarias
	V-d: Vertiente coluvial de detritos
	V-cd: Vertiente coluvio-deluvial
	P-pral: Piedemonte proluvial
	Pl-al: Llanura o planicie aluvial
	Dan: Depósito antrópico
	T-m: Terraza marina
	Mar

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL PIURA - PAÍTA - PAÍTA	
MAPA GEOMORFOLÓGICO	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/14,000	Versión digital: 2022
MAPA 3	



SIMBOLOGÍA	
	Drenaje superficial
	Vía departamental
	Vía nacional
	Escarpe de derrumbe activo
	Dirección de movimiento activo

LEYENDA	
	Derrumbe activo
	Flujo de detritos activo
	Erosión en cárcava activa

SECTOR ENERGÍA Y MINAS INGEMMET INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS A NIVEL NACIONAL PIURA - PAITA - PAITA	
MAPA DE PELIGROS GEOLÓGICOS	
Elaboración: Elvis Alcántara	Revisión: Luis León
Proyección: UTM - Zona 17 Sur	Datum: WGS 84
Escala: 1/14,000	Versión digital: 2022
MAPA 4	

ANEXO 2. MEDIDAS CORRECTIVAS

Para los derrumbes y erosiones en cárcava

En la zona evaluada para la mitigación de los peligros geológicos, se debe controlar la infiltración del agua hacia afuera del cuerpo de los movimientos en masa. Los métodos de estabilización de los movimientos en masa, que contemplan el control del agua, tanto superficial como subterránea, son muy efectivos y generalmente más económicos que la construcción de grandes obras de contención, desactivan y disminuyen la presión de los poros, considerada el principal elemento desestabilizantes en laderas. El drenaje reduce el peso de la masa y al mismo tiempo aumenta la resistencia de la ladera (Suárez Díaz, 1998). Las medidas de drenaje recomendadas son:

a. Drenaje Superficial

Las zanjas construidas permiten la recolección de aguas superficiales, captan la escorrentía tanto de la ladera, como de la cuenca de drenaje arriba del talud y desvía el agua a las quebradas adyacentes al cuerpo de movimiento en masa, evitando su infiltración, captando el agua de escorrentía, llevándola a un sitio lejos del movimiento en masa. Éstas deben ser construidas en la parte superior al escarpe principal del movimientos en masa (Figura 21). En las obras construidas - zanjas de drenaje es necesario impermeabilizar la caja hidráulica captando y evitando totalmente la infiltración de las aguas de escurrimiento la ladera, según las imágenes adjuntas.

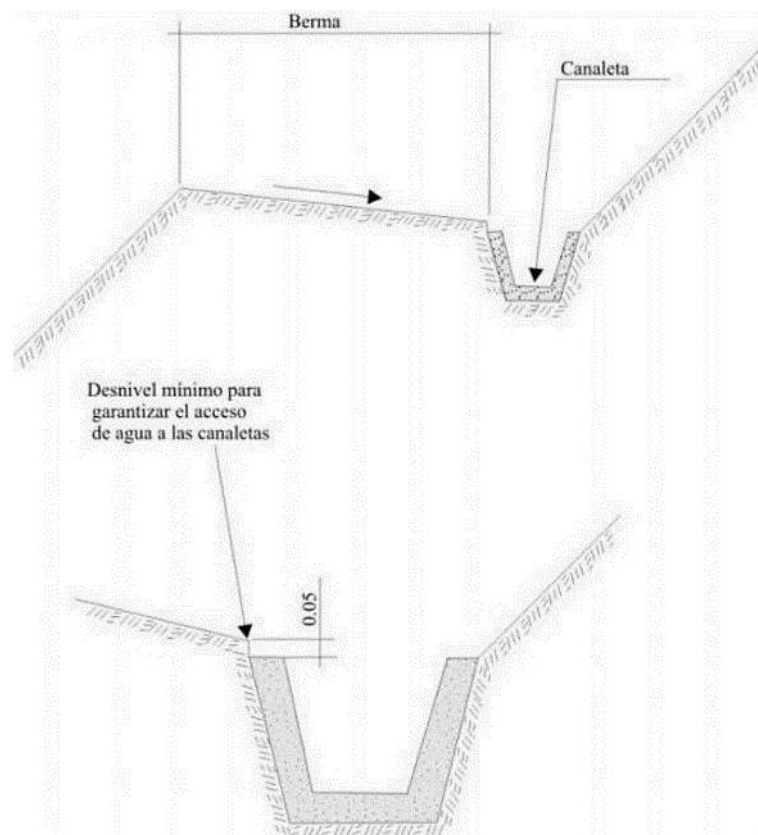


Figura 21. Detalle una canaleta de drenaje superficial (zanjas de coronación). Tomado de INGEMMET (2000).

b. Revegetación y bioingeniería

Los árboles y arbustos de raíz profunda aportan una resistencia cohesiva significativa a los mantos de suelo más superficiales y al mismo tiempo, facilitan el drenaje subterráneo, reduciendo en esta forma la probabilidad de movimientos en masa poco profundos (Suárez Díaz, 2007).

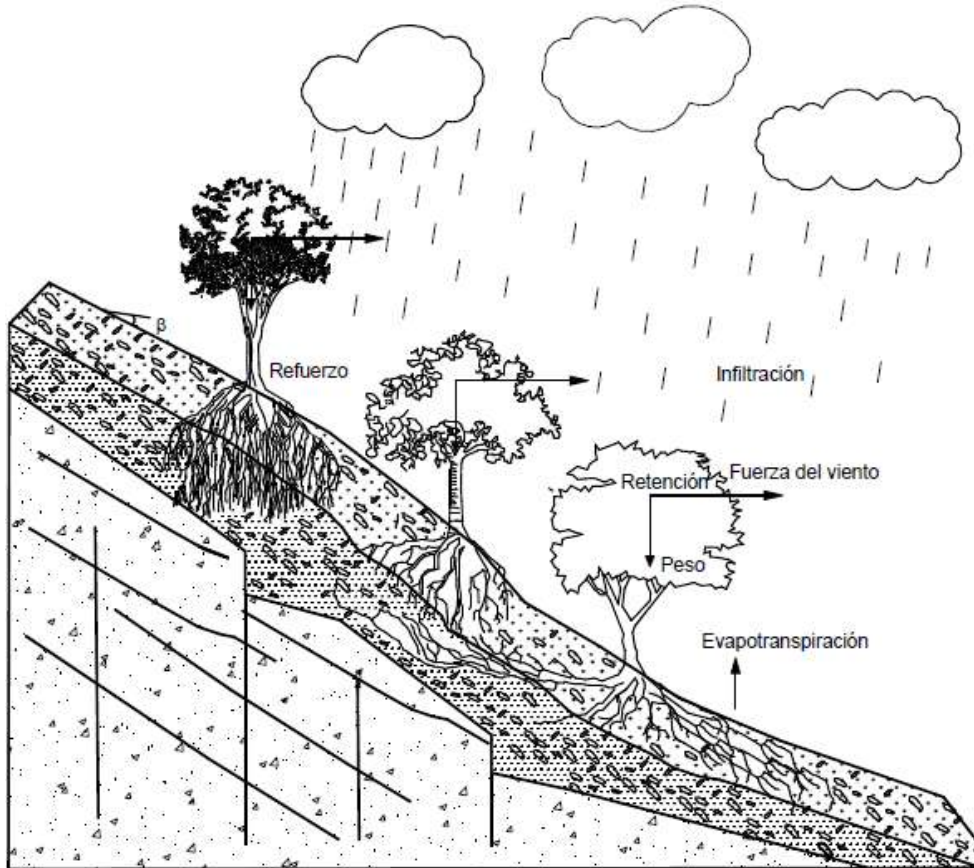


Figura 22. Estabilización de taludes utilizando vegetación. **Fuente:** Suarez, Díaz 2007.



Fotografía 11. Ejemplo de bioingeniería con arbusto (vetiver) en taludes de materiales sueltos.