

DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

Informe Técnico N° A7449

EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL DISTRITO SAN BARTOLO

Departamento Lima
Provincia Lima
Distrito San Bartolo



NOVIEMBRE
2023

***EVALUACIÓN DE PELIGROS GEOLÓGICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN
EL DISTRITO SAN BARTOLO***

Distrito San Bartolo, provincia Lima, departamento Lima

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

Equipo de investigación:

*Griselda Ofelia Luque Poma
Freddy Luis Córdova Castro
Jose Luis Moreno Herrera*

Referencia bibliográfica

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2023). *Evaluación de Peligros Geológicos por movimientos en masa en el distrito San Bartolo, provincia Lima, departamento Lima*. Lima: Ingemmet, Informe Técnico A7449, 47 p.

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivos del estudio.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Aspectos generales	5
1.3.1. Ubicación	5
1.3.2. Población	5
1.3.3. Accesibilidad	6
1.3.4. Clima.....	7
2. DEFINICIONES	7
3. ASPECTO GEOLÓGICO	10
3.1. Unidades litoestratigráficas.....	10
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS	14
4.1. Pendiente del terreno.....	14
4.2. Unidades Geomorfológicas.....	15
4.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL	15
4.2.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL	18
5. PELIGROS GEOLÓGICOS	22
5.1 FLUJOS.....	22
5.2 ARENAMIENTOS	25
5.3 EROSIÓN MARINA	25
8. EROSIÓN MARINA EN EL DISTRITO DE SAN BARTOLO.....	32
9. CONCLUSIONES	35
10. RECOMENDACIONES	36
11. BIBLIOGRAFÍA	37
MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA	44
1.1. MITIGACIÓN DE PELIGROS POR FLUJOS	44
1.2. MITIGACIÓN DE EROSIÓN MARINA.....	44

RESUMEN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico – Ingemmet, a través de la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (DGAR), realiza la “Evaluación de peligros geológicos a nivel nacional (Actividad 11)”. Con este trabajo 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 del peligro geológico por movimientos en masa en el distrito San Bartolo, provincia y departamento Lima.

En el contexto litológico el área se ubica sobre lavas andesíticas poco estratificadas que alternan con horizontes de tobas, brechas y esporádicos niveles de calizas muy fracturadas de la Formación Quilmaná y secuencias volcano-sedimentarias constituidas por tobas líticas y vítricas con delgadas intercalaciones de brechas piroclásticas, lavas y areniscas volcánicas bien estratificadas muy fracturadas y moderadamente meteorizadas de la Formación Chilca, y depósitos cuaternarios poco consolidados a inconsolidados como los depósitos marinos (constituidos por arenas y gravas), depósitos aluviales (gravas con matriz limo-arenosa intercalados con limos y arenas), depósitos proluviales (gravas y bloques) y depósitos eólicos (limos y arenas).

Las unidades Geomorfológicas registradas en el distrito de San Bartolo que corresponden a relieve de colinas y lomadas en rocas intrusivas, volcánicas y volcánico-sedimentarias y montañas volcánicas, piedemontes aluvio-torrenciales, planicie aluvial, terraza marina, campo de dunas, playa de arena y canos rodados.

Los eventos identificados son peligros geológicos por movimientos en masa como flujo de detritos y lodo en la quebrada Cruz de Hueso y otros peligros como arenamiento y erosión marina, que se da tanto en el balneario Norte como en el Sur. Los eventos han afectado terrenos de cultivos, viviendas y vías de acceso del distrito.

El factor detonante para la generación de estos peligros fueron las lluvias excepcionales como en el Fenómeno El Niño 97-98, Niño Costero 2017 y presencia del Ciclón Yaku en el 2023.

Las áreas de impacto por flujo de detritos y lodo, por las condiciones geomorfológicas y geodinámicas, se considera como **Zona Crítica de Peligro Alto** ante movimientos en masa y **Peligro Alto** ante erosión marina.

Finalmente, se brindan las recomendaciones para las autoridades competentes y tomadores de decisiones, como la construcción de barreras de contención, limpieza y descolmatación de la quebrada Cruz de Hueso, así como monitorear la actividad las lluvias anómalas, instalar un sistema de alerta temprana, capacitar a la población en Gestión del Riesgo de Desastre (GRD). Entre otros que se ponen en conocimiento.

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), ente técnico-científico 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)”. De esta manera contribuye con entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno (nacional, regional y local) mediante el reconocimiento, caracterización y diagnóstico del peligro en zonas que tengan elementos vulnerables y brinda recomendaciones pertinentes a fin de mitigar y prevenir fenómenos activos en el marco de la Gestión de riesgos de desastres.

Atendiendo la solicitud remitida por la Municipalidad Distrital de San Bartolo, provincia y departamento de Lima, según el Oficio N° 0119-2023-ALC/MDSB, es en el marco de nuestras competencias que se realizó una evaluación de peligros en el distrito San Bartolo, ante la ocurrencia de movimientos en masa.

La Dirección de Geología Ambiental y Riesgos Geológicos (DGAR) del Ingemmet designó a los Ingenieros Griselda Ofelia Luque Poma, Jose Luis Moreno Herrera y Bach. Freddy Luis Córdova Castro, para realizar la evaluación de peligros en la localidad mencionada los días 16 y 17 de agosto del 2023.

La evaluación técnica se realizó en 03 etapas: etapa de pre-campo con la recopilación de antecedentes e información geológica y geomorfológica del INGEMMET; etapa de campo a través de la observación, toma de datos (sobrevuelos dron, puntos GPS, tomas fotográficas), cartografiado, recopilación de información y testimonios de población local afectada; y para la etapa final de gabinete se realizó el procesamiento de toda información terrestre y aérea adquirida en campo, fotointerpretación de imágenes satelitales, cartografiado e interpretación, elaboración de mapas, figuras temáticas y redacción del informe.

Este informe se pone a consideración de la Municipalidad Distrital de San Bartolo e instituciones técnico normativas del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – Sinagerd, como el Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastre - CENEPRED, a fin de proporcionar información técnica de la inspección, conclusiones y recomendaciones que contribuyan con la reducción del riesgo de desastres en el marco de la Ley 29664.

1.1. Objetivos del estudio

El presente trabajo tiene como objetivos:

- a) Evaluar y caracterizar los peligros geológicos en el distrito San Bartolo, provincia y departamento Lima.
- 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 identificados en los trabajos de campo.

1.2. Antecedentes

Entre los principales estudios realizados a nivel local y regional en el área evaluada, se tienen:

- **“Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete”** (INGEMMET, 1992). Tuvo como objetivos la selección de áreas donde podrían ubicarse ciudades satélites y estudio de los factores geológicos e ingenieriles con incidencia constructiva (litología, estructura, hidrología superficial entre otras). Los aspectos geodinámicos incluyen a los huaicos como procesos que causan mayor daño, resaltan la del año 1987 que bajó por la quebrada Cruz de Hueso que afectó el sector San Bartolo. Se realizaron los siguientes estudios:
 - a) Factores fisiográficos y geológicos
 - b) Riesgos geológicos y climatológicos,
 - c) Uso de rocas industriales y áridos.
 - d) Condiciones constructivas de los terrenos,
 - e) Factores geomecánicos de los terrenos
 - f) Áreas para la depositación de residuos sólidos.
- **Zonificación sísmico- geotécnica para siete distritos de Lima Metropolitana (IGP, 2010)**. Presenta los resultados del estudio de microzonificación sísmico- geotécnica, a partir de comportamientos dinámicos del suelo (CDS), realizado en 7 distritos de Lima, incluyendo San Bartolo, según el procedimiento establecido por APESEG (2005) Se identificaron 4 zonas Sísmico –Geotécnicas, clasificación considerada en la Norma 2003) y que considera al distrito como zonas I, II, y III, los cuales corresponden a suelos S1, S2 y S3.
- **Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao (Villacorta et, al, 2015)**. Se identificaron 848 peligros y 107 zonas críticas. Entre los movimientos en masa predominan las caídas de rocas y derrumbes con un 47 %; procesos asociados a la pendiente del terreno y al fuerte fracturamiento y/o diaclasamiento de la roca (rocas sueltas en la ladera); también flujos (huaicos, flujos de lodo, etc.) con 36 %, detonados por lluvias excepcionales. Se registraron también procesos asociados a lluvias periódicas y excepcionales como inundaciones y erosión fluvial, con un 11 %. Así como también arenamientos, hundimientos y licuefacción de suelos con un 6 %. Según el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, el distrito de San Bartolo presenta **susceptibilidad de muy baja a muy alta** (Figura 1).
- **Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín-Pucusana (Tejada, R. 2017)**. Tuvo como objetivo identificar los lugares vulnerables del sector costero de estudio ante un posible incremento del nivel del mar que podría acelerar los procesos de erosión costera, poner en riesgo la infraestructura y las actividades que se realizan en la zona. Los resultados permitieron

conocer cuáles son los lugares más vulnerables, siendo San Bartolo uno de los distritos considerados con una vulnerabilidad “alta”.

- **Peligros geológicos y geohidrogeológicos detonados por el evento del Niño Costero 2017 en la región Lima y parte de Ica (INGEMMET, 2017).** Se realizaron evaluaciones, inventario y caracterización de zonas afectadas por peligros geológicos, con predominancia de flujos de lodo, agua y detritos en un (46.7%), seguido de la inundación y erosión fluvial (32.2%) por incremento de los caudales de ríos y quebradas por las intensas precipitaciones ocurridas; movimientos en masa tipo deslizamientos y caída de rocas que suman un (21.1%). Los desbordes, inundaciones y erosiones fluviales se desarrollaron en cuencas medias y bajas de los valles de Chancay- Huaral, Pativilca, y otros, así como quebradas afluentes, **quebradas o ríos al sur como Chilca y San Bartolo**, afectando zonas ubicadas en terrenos bajos de llanuras de inundación terrazas bajas a medianas.

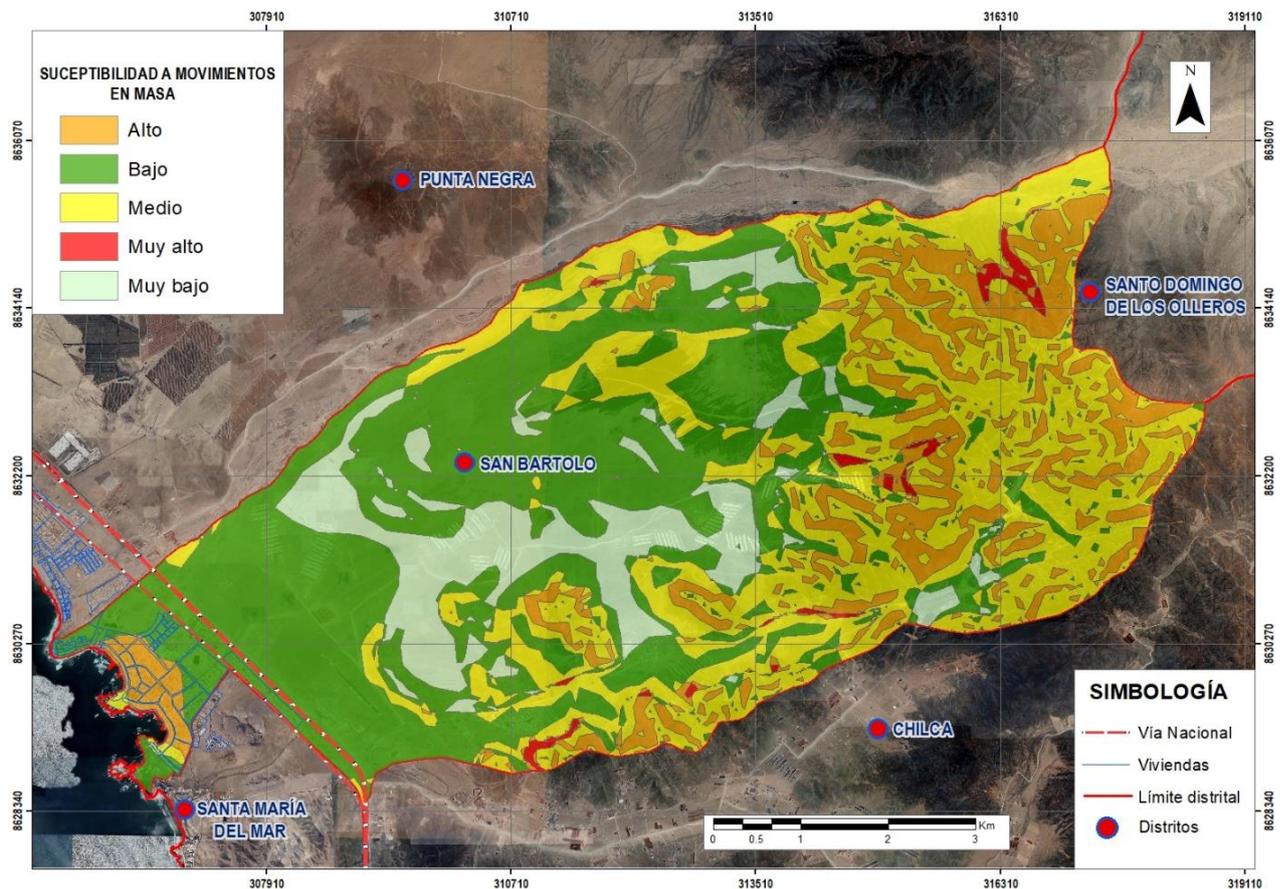


Figura 1 Susceptibilidad a movimientos en masa del distrito de San Bartolo (Luque, 2019).

1.3. Aspectos generales

1.3.1. Ubicación

El distrito de San Bartolo se encuentra situado en la parte central de la provincia y departamento de Lima, a la altura de los kilómetros 42 al 46 de la antigua Panamericana Sur. Limita por el norte con el distrito de Punta Negra, por el sur con el distrito de Chilca, por el este con el distrito de Santo Domingo de Olleros (provincia de Huarochirí) y por el oeste con el Océano Pacífico (figura 2). Entre las coordenadas UTM (WGS84), zona 18S descritas en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de las áreas de estudio.

N°	UTM – WGS 84 - ZONA 18S		Coordenadas Decimales (°)	
	Este	Norte	Latitud	Longitud
1	305184	8630487	-12.382584°	-76.791916°
2	306202	8628444	-12.401111°	-76.782681°
3	309594	8627925	-12.406006°	-76.751521°
4	319418	8631055	-12.378281°	-76.661000°
5	317593	8636341	-12.330396°	-76.677477°
6	308990	8634362	-12.347787°	-76.756686°
Coordenada central de los peligros identificados				
Coordenada Central	312109	8631914	-12.370097°	-76.728156°

1.3.2. Población

De acuerdo con la información del XII Censo de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas de 2017 (INEI, 2018), el distrito de San Bartolo tiene una población de 7482 habitantes, distribuidos en 1933 viviendas, con acceso a energía eléctrica, agua por red pública y desagüe.

Tabla 2. Datos del distrito San Bartolo

Descripción	San Bartolo – INEI
Código de Ubigeo	150129
Longitud	76°46'50"
Latitud	12°23'18"
Altitud	24
Población	7482
Viviendas	3760
Agua Por Red Publica	Si
Energía eléctrica en la vivienda	Si
Desagüe por red publica	Si
Institución Educativa Primaria	Si
Institución Educativa Secundaria	Si
Establecimiento de salud	Si
Idioma o Lengua hablada con mayor frecuencia	Castellano

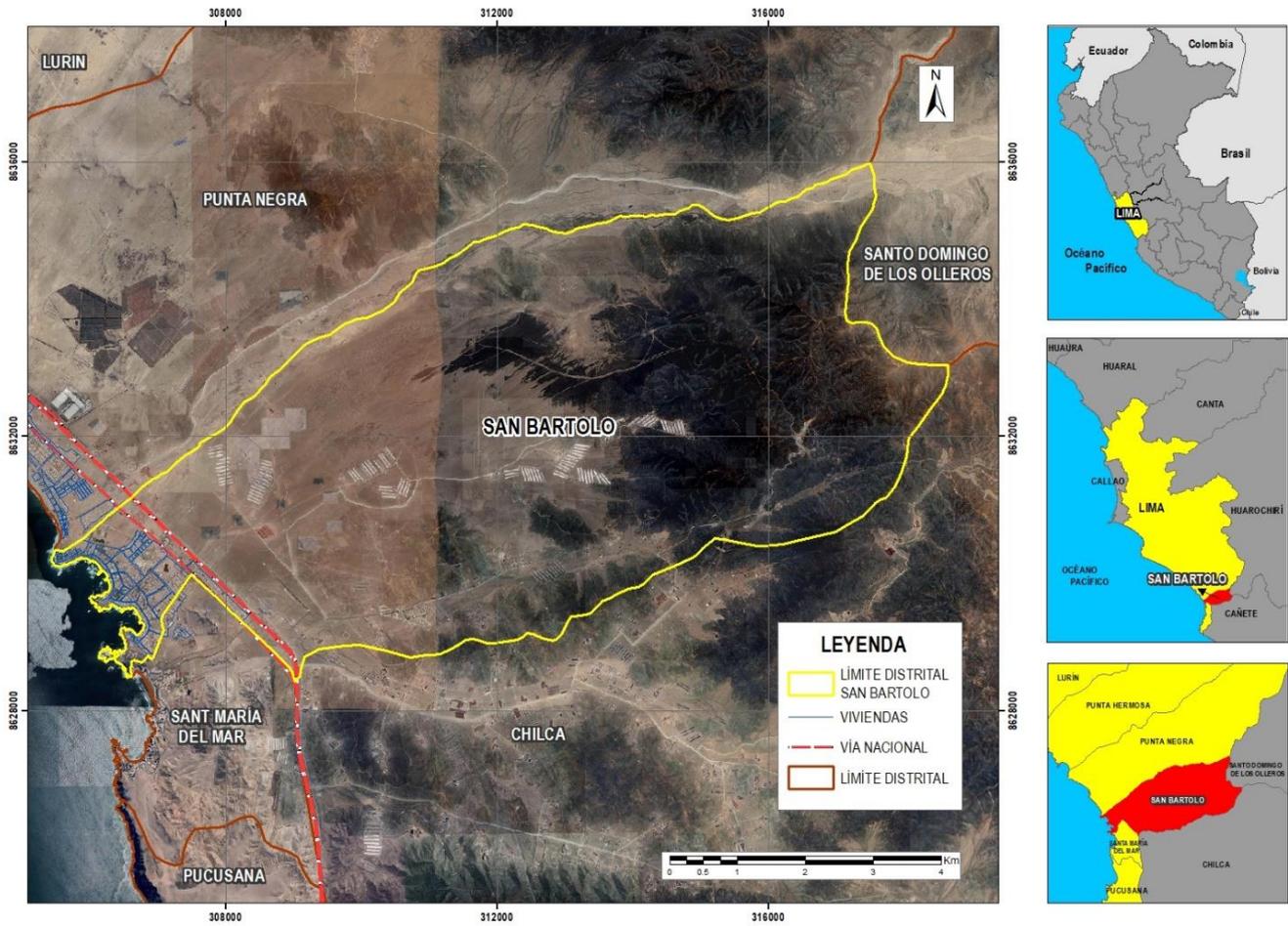


Figura 2. Ubicación del distrito San Bartolo, departamento y provincia de Lima.

1.3.3. Accesibilidad

El acceso al distrito de San Bartolo, desde la ciudad de Lima, es por medio de la carretera Panamericana Sur, por un tiempo estimado de 1 hora, a través de 51.4 km aproximadamente.

Tabla 3. Rutas y acceso a la zona evaluada

Ruta	Tipo de Vía	Distancia (km)	Tiempo estimado
Ciudad de Lima (INGEMMET) – San Bartolo	Asfaltada	51.4	1h

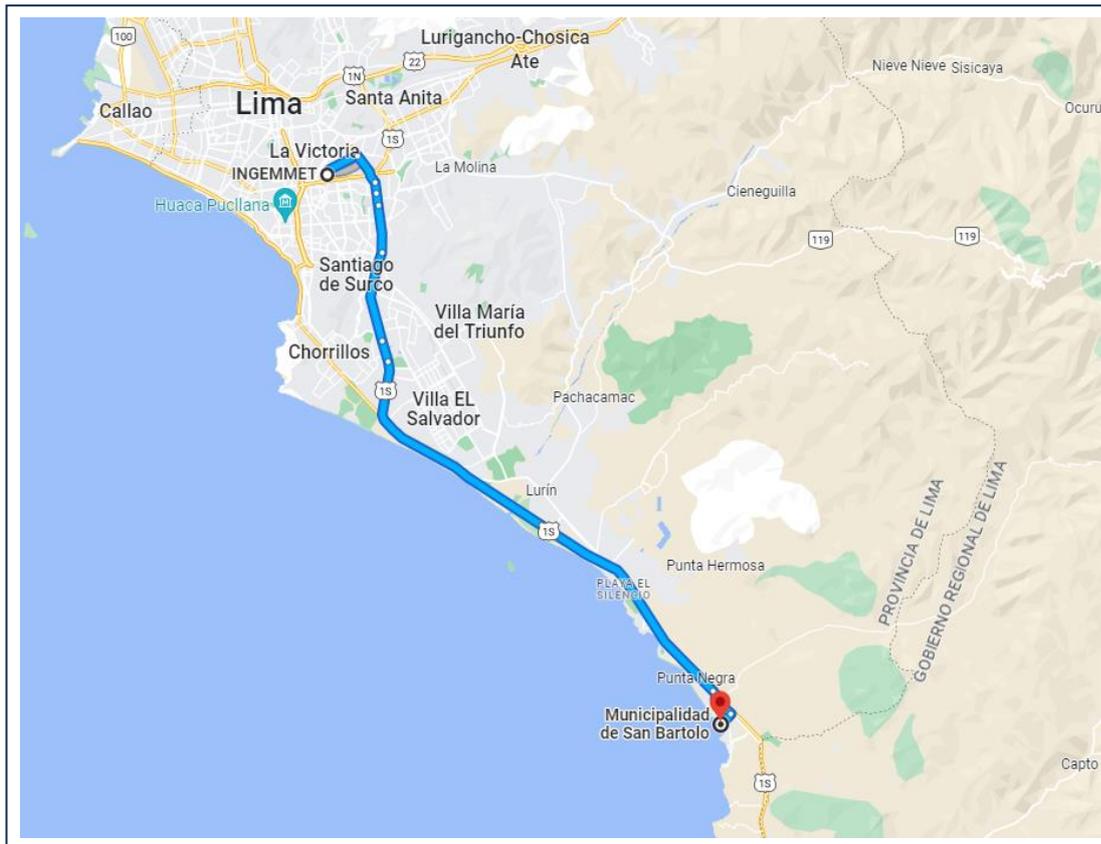


Figura 3. Ruta de acceso: Ciudad de Lima (INGEMMET) --San Bartolo. **Fuente:** Google Maps

1.3.4. Clima

Según el método de Clasificación Climática de Warren Thornthwaite - (Senamhi, 2020), la zona de estudio posee un clima de tipo árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Templado. E (d) B' con una temperatura máxima promedio de 19° C hasta los 31 C° y una temperatura mínima promedio que va desde los 3° C hasta los 21°C y una precipitación anual que varía entre 0 mm y 5 mm en las partes adyacentes al litoral y alcanza valores entre 500 y 700 mm en las zonas altas de costa norte.

2. DEFINICIONES

El presente informe técnico está dirigido a entidades gubernamentales en los tres niveles de gobierno, así como personal no especializado, no necesariamente geólogos; en el cual se desarrollan diversas terminologías y definiciones vinculadas a la identificación, tipificación y caracterización de peligros geológicos, para la elaboración de informes y documentos técnicos en el marco de la gestión de riesgos de desastres. Todas estas denominaciones tienen como base el libro: “Movimientos en masa en la región andina: una guía para la evaluación de

amenazas” desarrollado en el Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA, 2007); donde participó la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del Ingemmet. Los términos y definiciones se detallan a continuación:

Actividad: La actividad de un movimiento en masa se refiere a tres aspectos generales del desplazamiento en el tiempo de la masa de material involucrado: el estado, la distribución y el estilo de la actividad. El primero describe la regularidad o irregularidad temporal del desplazamiento; el segundo describe las partes o sectores de la masa que se encuentran en movimiento; y el tercero indica la manera como los diferentes movimientos dentro de la masa contribuyen al movimiento total. El estado de actividad de un movimiento en masa puede ser: activo, reactivado, suspendido, inactivo latente, inactivo abandonado, inactivo estabilizado e inactivo relicto (WP/WLI, 1993).

Activo: Movimiento en masa que actualmente se está moviendo, bien sea de manera continua o intermitente.

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 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.

Arenamiento: La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de la arena, debido a que los vientos erosionan, transportan y depositan las partículas de suelo, en áreas secas donde el suelo no es retenido por la vegetación, favorecen la migración y acumulación de arena en forma de mantos de arena, médanos o dunas (Villacorta et al., 2008)

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 marina: Es aquel proceso denudativo de la superficie terrestre que consiste en el arranque y transporte de material por el agente natural marino.

Factor condicionante: Se refiere al factor natural o antrópico que condiciona o contribuye a la inestabilidad de una ladera o talud, pero que no constituye el evento detonante del movimiento.

Factor 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.

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 muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, 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.

Flujo de lodo: Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad > 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al de flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material

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.

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.

Velocidad: Para cada tipo de movimiento en masa se describe el rango de velocidades, parámetro importante ya que ésta se relaciona con la intensidad del evento y la amenaza que puede significar. De acuerdo con Cruden y Varnes (1996), las escalas de velocidades corresponden a: extremadamente lenta, muy lenta, lenta, moderada, rápida, muy rápida y extremadamente rápida.

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 y análisis geológico se desarrolló en base al Boletín N°43-Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica. Hojas: 24-i, 25-i, 24-j, 25-j (Palacios et al., 1992) y al Boletín N°142 Serie A, Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Mala (26-j), Lurín (25-j) y Lima (25-l). Escala 1:50 000 León, W., De La Cruz, O., 2003).

Se observa que en la zona de estudio afloran rocas volcánicas (Formación Quilmaná); rocas vulcano-sedimentarias (Formación Chilca), así como depósitos Cuaternarios (marinos, proluviales y aluviales). La información obtenida se complementó con trabajos en campo, análisis de imágenes satelitales, fotografías 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.

3.1. Unidades litoestratigráficas

Las unidades litoestratigráficas que afloran en el área de estudio corresponden a rocas sedimentarias; además de depósitos cuaternarios recientes:

3.1.1 Grupo Casma: En Lima, el Grupo Casma ha sido dividido en unidades litoestratigráficas definidas por una secuencia volcánico-sedimentaria en la parte inferior y otra netamente volcánica en la parte superior. Así al noreste del valle de Chillón, sector del borde occidental andino sobre la Formación Atocongo se ha diferenciado una unidad volcánico-elástica denominada Formación Huarangal (Estudio Geológico-Tectónico del área de Lima-INGEMMET, 1981) Mientras que al sur (sector costanero del cuadrángulo de Lurín) se reconoce como su equivalente a la Formación Chilca, sobreyaciendo concordante una serie volcánica masiva que se conoce como Volcánico Quilmaná prolongándose estas unidades a la hoja de Chosica.

Formación Quilmaná (Kis-qui3): Representa la parte superior del Grupo Casma. Está compuesta por lavas andesíticas poco estratificadas que alternan con horizontes de tobas, brechas y esporádicos niveles de calizas. Existen dentro de esta unidad andesitas masivas y andesitas basálticas con débil grado de metamorfismo y muy fracturadas (Figura 4).

Formación Chilca (Ki-chil3) Representa la parte inferior del Grupo Casma. Se trata de secuencias vulcano-sedimentarias del Cretáceo Temprano, constituidas por tobas líticas y vítricas con delgadas intercalaciones de brechas piroclásticas, lavas y areniscas volcánicas bien estratificadas muy fracturadas (Figura 5).



Figura 4 Afloramiento de lavas andesíticas muy fracturadas pertenecientes a la Formación Quilmaná ubicados en la margen izquierda de la quebrada Cruz de Hueso.



Figura 5 Brechas piroclásticas de la Formación Chilca que incluye rocas muy fracturadas (playa Sur- San Bartolo).

3.1.2 Depósitos Cuaternarios

Depósito Marino (Q-ma): Los depósitos marinos pertenecientes al Holoceno. Están constituidos por arenas y gravas retrabajadas por la acción erosiva de las olas y distribuidos por las corrientes marinas (Fotografía 1).

Depósito Aluvial (Qh-al): Estos depósitos formados en el Holoceno. Están compuestos por gravas con matriz limo-arenosa intercalados con limos y arenas. Se encuentran distribuidos a lo largo de la quebrada Cruz de Hueso.

Depósito Proluvial (Q-pl): Están conformados por fragmentos rocosos heterométricos (gravas y bloques), con relleno limo arcilloso depositado en el fondo de quebradas activadas de manera temporal (Fotografías 2 y 3).

Depósito Eólico (Q-eo): Estos depósitos son del Holoceno. Están compuestos por arenas. Se encuentran distribuidos a lo largo de la quebrada Cruz de Hueso.



Fotografía 1 Depósitos marinos resultado de la acción erosiva de las olas y distribuidos por corrientes marinas (playa Sur- San Bartolo)



Fotografía 2 Depósitos proluviales recientes formados por la acumulación de material transportado, la estratificación evidencia eventos pasados de flujos de lodo.



Fotografía 3 Depósitos proluviales conformados por material heterométrico de 0.5 m a 2 m con formas subredondeados a subangulosas con finos areno-arcilloso, se ubican en el cauce a lo largo de la quebrada Cruz de Hueso.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

Para la caracterización de las unidades geomorfológicas en el distrito de San Bartolo, se usaron la publicación de Villota (2005), el boletín serie C, N°59 Peligros Geológicos en el área de Lima Metropolitana y la Región Callao, imágenes satelitales e imágenes obtenidas por vuelo fotogramétrico. Además, se consideraron criterios de control como: la homogeneidad litológica y la caracterización conceptual en base a los aspectos del relieve en función a su altura relativa y en relación a procesos de erosión, denudación y sedimentación o acumulación.

Se agrupan en cuatro tipos generales: 1) montañas, 2) colinas, 3) piedemontes y 4) planicies. Se tomó en cuenta para la clasificación de las unidades geomorfológicas, peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao

4.1. Pendiente del terreno

El distrito de San Bartolo presenta terrenos con pendientes que varían de llano (<1°) a pendiente suave (1° a 5°) en aquellos sectores donde se han asentado viviendas e infraestructuras públicas, a pendientes fuertes y muy escarpados (15° a >45°) en los terrenos con geoformas de montaña en roca intrusiva, montaña en roca sedimentaria y montaña en roca volcánico-sedimentaria.

Tabla 4 Rango de pendientes del terreno

RANGOS DE PENDIENTES		
Pendiente	Rango	Descripción
0°-1°	Llano	Comprende terrenos planos de las zonas de altiplanicie, extremos más distales de abanicos aluviales y torrenciales, bofedales, terrazas, llanuras de inundación fondos de valle y lagunas.
1°a 5°	Inclinación suave	Terrenos planos con ligera inclinación que se distribuyen también a lo largo de fondos de valles, planicies y cimas de lomadas de baja altura, también en terrazas aluviales y planicies.
5°a 15°	Moderado	Laderas con inclinaciones entre 5° y 15° se consideran con susceptibilidad moderada a los movimientos en masa de tipo reptación de suelos, flujos de detritos. En este rango se asienta el centro poblado de Pomabamba y se identificaron reptación y deslizamientos en la
15°a 25°	Fuerte	Pendientes que se distribuyen principalmente en los bordes de abanicos aluviales, conos, piedemontes proluviales-aluviales y planicies.
25°a 45°	Muy fuerte	Se encuentran en laderas de colinas y montañas sedimentarias, así como terrazas aluviales, que forman acantilados, vertientes de los valles.
>45°	Muy escarpado	Distribución a lo largo de laderas, cumbres de colinas y montañas sedimentarias, así como acantilados, donde se generaron la mayor cantidad de deslizamientos.

4.2. Unidades Geomorfológicas

Las unidades Geomorfológicas registradas en el distrito de San Bartolo comprenden unidades degradacionales-erosionales y unidades depositacionales o agradacionales, éstas se especifican en el cuadro 5.

Cuadro 5 Unidades geomorfológicas identificadas

Unidades geomorfológicas de carácter tectónico degradacional y erosional	
Unidad	Subunidad
Montaña	Montaña en roca volcánica (RM-rv)
Colinas y lomadas	Colina y lomada en roca intrusiva (RCL-ri)
	Colina y lomada en roca volcánica (RCL-rv)
	Colina y lomada en roca volcánico-sedimentaria (RCL-rvs)
Unidades geomorfológicas de carácter depositacional o agradacional	
Unidad	Subunidad
Piedemonte	Piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)
Planicie	Llanura o planicie aluvial (PI-al)
Marino	Terraza marina (T-m)
	Playa de arena
	Playa de cantos rodados
Eólico	Campo de dunas

4.2.1. GEOFORMAS DE CARÁCTER TECTÓNICO DEGRADACIONAL Y EROSIONAL

Estas geoformas resultan del efecto progresivo de los procesos morfodinámicos degradacionales sobre los relieves iniciales originados por la tectónica o sobre algunos paisajes construidos por procesos exógenos agradacionales, estos procesos conducen a la modificación parcial o total de estos a través del tiempo geológico y bajo condiciones climáticas cambiantes (Villota, 2005). En el distrito de San Bartolo se distinguen geoformas de carácter tectónico degradacional y erosional (montaña en roca sedimentaria: M-rs; montaña en roca volcánico sedimentaria), y de carácter depositacional y agradacional (Llanura o planicie aluvial: PI-al, terraza marina:T-m, piedemonte proluvial: P– pral).

Los paisajes morfológicos, resultantes de los procesos denudativos forman parte de las cadenas montañosas, colinas, lomadas y vertientes, llanuras y terrazas. Dentro de este grupo se tienen las siguientes unidades:

Unidad de montaña

Es la unidad o componente de cualquier cadena montañosa y se define como una gran elevación natural del terreno, de diverso origen, con más de 300 metros de altura, cuya cima puede ser aguda, sub aguda, semi redondeada, redondeada o tabular y cuyas laderas pueden ser regulares, irregulares y complejas, además presenta un declive promedio superior al 30% (Villota, 2005).

Subunidad de montañas en rocas volcánicas (M-rv)

Estas geoformas, litológicamente están formadas por rocas volcánicas. Se identificaron en la margen izquierda de la quebrada Cruz de Hueso (parte media de la quebrada). Figura 6.



Figura 6. En la parte media alta de la quebrada, en la margen izquierda se observan montañas en roca volcánica en dirección NE desde el balneario

Unidad de colinas y lomadas

Están representadas por colinas y lomadas de relieve complejo y en diferentes grados de disección, de menor altura que una montaña (inferior a 300 m desde el nivel de base local), cuyas laderas se inclinan en promedio con valores superiores a 16% de pendiente.

Subunidad de colinas y lomadas en roca intrusiva (CL-ri)

Corresponde a afloramientos de rocas intrusivas reducidos por procesos denudativos, conforman elevaciones alargadas, con laderas disectadas y de pendiente moderada a baja. Se identificaron estas geoformas en la margen derecha de la quebrada Cruz de Hueso, en su parte media-alta.

Subunidad de colinas y lomadas en roca volcánica (CL-rv)

Esta forma de relieve, litológicamente está compuesta por rocas volcánicas reducidos por procesos denudativos. Se caracterizan por presentar laderas disectadas y de pendiente moderada a baja. Se ubican en la parte baja-media de la quebrada Cruz de Hueso, en ambas márgenes (Figura 7).

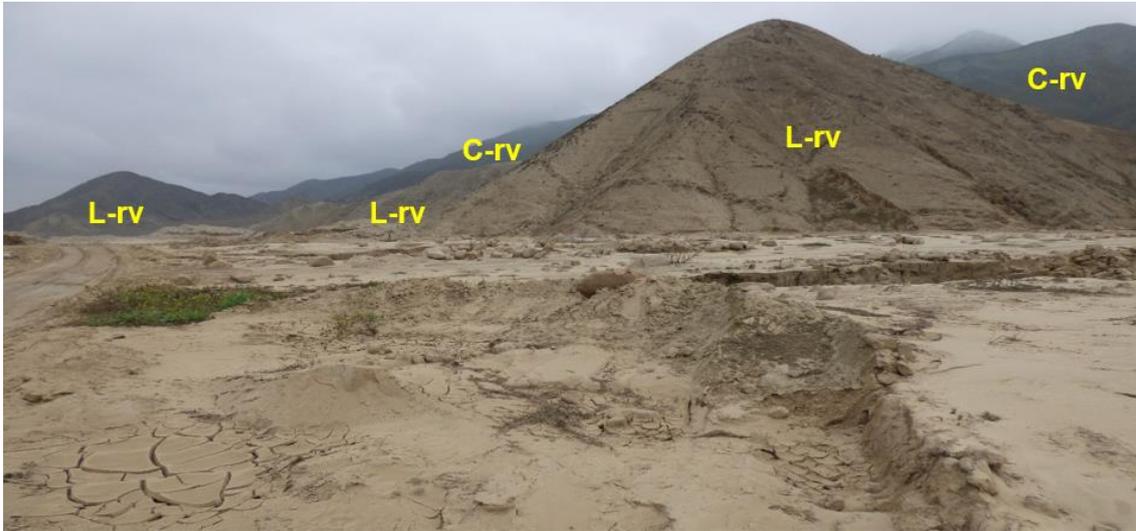


Figura 7. La Imagen muestra colinas y lomadas en roca volcánicas cercanas a la margen derecha del cauce principal de la quebrada Cruz de Hueso.

Subunidad de colinas y lomadas en roca volcánico-sedimentaria (CL-rvs)

Corresponde a afloramientos de rocas volcánico-sedimentarias reducidos por procesos denudativos, conforman elevaciones alargadas, con laderas disectadas y de pendiente moderada a baja. Se identificaron estas geoformas en ambas márgenes de la quebrada Cruz de Hueso (parte baja-media de la quebrada). Figura 8



Figura 8 La Imagen muestra colinas en roca volcánicas cercanas a la margen derecha del cauce principal de la quebrada Cruz de Hueso.

4.2.2 GEOFORMAS DE CARÁCTER DEPOSITACIONAL O AGRADACIONAL

Estas geoformas son resultado del conjunto de procesos geomorfológicos a los que se puede denominar constructivos, determinados por fuerzas de desplazamiento, como por agentes móviles, tales como: el agua de escorrentía y los vientos; los cuales tienden a nivelar hacia arriba la superficie de la tierra, mediante el depósito de materiales sólidos resultantes de la denudación de terrenos más elevados.

Unidad de piedemonte

Unidad genética correspondiente a una planicie inclinada con topografía de glacís, que se extiende al pie de sistemas montañosos y escarpes de altiplanicies, y que ha sido formada por la sedimentación de las corrientes de agua que emergen de los terrenos más elevados hacia las zonas más bajas y abiertas.

Subunidad de piedemonte proluvial o aluvio-torrencial (P-pral)

Esta unidad se encuentra asociada a los depósitos dejados por los flujos de detritos (huaicos) y de lodo de tipo excepcional. Tiene pendiente suave, menor a 5° y está compuesto por fragmentos rocosos heterométricos (bloques, bolos y detritos) en matriz limo-arenosa, transportados por la quebrada Malanche y depositados en forma de cono.

Unidad de planicie

Superficies planas con ligeras ondulaciones. Están asociadas a depósitos aluviales y fluvio-glaciares, limitados en muchos casos por depósitos de piedemonte y laderas de montañas o colinas.

Llanura o planicie aluvial (PI-al)

Se caracterizan por ser terrenos planos (pendiente suave entre 1 y 5°) y de ancho variable. Sobre esta forma de relieve se encuentra asentada parte de la zona urbana de San Bartolo. Fotografía 4.



Fotografía 4 Se observa llanura o planicie aluvial, vista SO, hacia el balneario del distrito de San Bartolo.

Unidad Marino o costera

Terraza marina (T-m)

Las terrazas marinas se forman debido a la combinación de dos factores: las variaciones del nivel del mar, y la subsidencia de la costa debido a procesos tectónicos. Morfológicamente en la zona, corresponde a una franja costera levemente inclinada hacia el mar y cubierta, en general, por depósitos marinos o eólicos. Fotografía 5.



Fotografía 5 Terraza marina frente a playa Norte, la secuencia de la terraza ha sido cortada para la construcción de la vía.

Playa de arena (PLA)

Las playas son geoformas que se extienden desde la línea de costa (límite de tierra firme y área de influencia marina) hasta la línea de ribera de baja marea.

La erosión de los acantilados como los sedimentos aportados por las corrientes fluviales y aquellos de origen biológico, se acumulan y conforman las playas de arena (Villota, H. 2015). Figura 9.



Figura 9. Playa de arena (en líneas punteadas amarillas) ubicada en el sector norte del distrito

Playa de canto rodado (PLCR)

Las playas marinas no son permanentes sino inestables y contrastantes dependiendo tanto del estado de las partículas de arenas y guijarros como de las características del oleaje. Así, muchas playas arenosas pueden ofrecer perfiles diferentes según ocurran periodos de tormentas o de calma.

Las playas de cantos rodados se conforman generalmente por la erosión de un borde costero de deposición aluvial y que al cambiar de punto de descarga hacia el sector opuesto se inicia un proceso lento de erosión donde el oleaje desplaza los sedimentos finos y deja las rocas de los cantos (Villota, H. 2005).

En el distrito de San Bartolo estas playas se encuentran tanto en el sector norte como en el sector sur, en ambos los diámetros de los cantos se varían entre 0.04m y 0.3 m. Fotografía 6.



Fotografía 6. Playas de cantos rodados, ubicadas en el sector norte y sur del distrito

Unidad eólica acumulativa

Esta unidad está compuesta por material fino arrastrado por el viento, depende de este proceso de erosión principalmente, pero está bajo la influencia de la dureza de la roca, el proceso de fracturamiento lo que generan estas partículas capaces de ser arrastradas por el viento, la dirección y la velocidad determinan los lugares de depositación.

Subunidad Campo de dunas (CDU)

Los transportes de arenas impulsados por la acción eólica generan grandes acumulaciones de estas en sectores dirigidos por la dirección de los vientos, Este tipo de migración y acumulaciones es una geoforma del proceso de arenamiento (Figura 10).

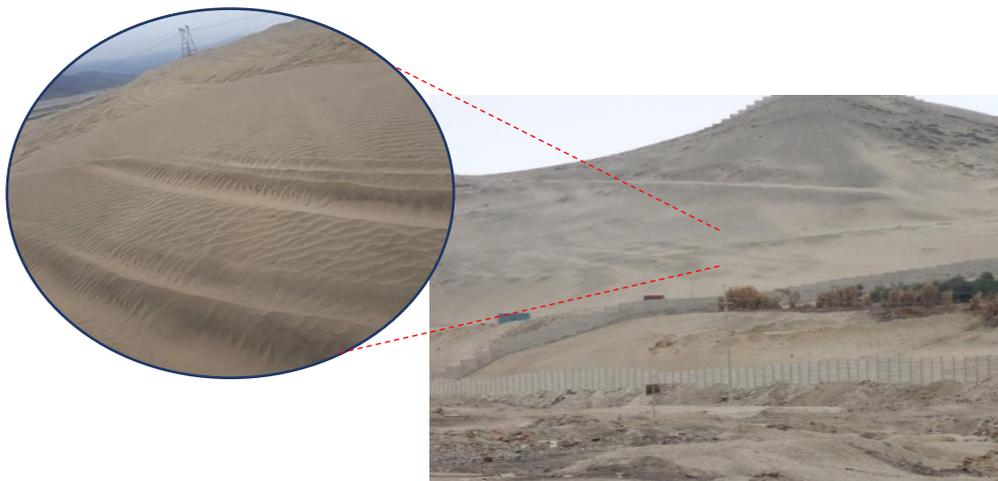


Figura 10. Campo de dunas en la parte NE del distrito de San Bartolo a la margen derecha de quebrada Cruz de Hueso.

5. PELIGROS GEOLÓGICOS

Los peligros geológicos reconocidos en el distrito de San Bartolo corresponden a movimientos en masa de tipo flujos (flujos de detritos o huaicos) (PMA: GCA, 2007) y otros peligros geológicos como arenamientos y erosión marina. Estos procesos son, el resultado del modelamiento del terreno, así como la incisión en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes sufrida por los cursos de agua, 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 y quebradas.

Los flujos de detritos tienen como causas o condicionantes a factores intrínsecos: la geometría del terreno, la pendiente, el tipo de roca y sus características geotécnicas (grado de meteorización y/o fracturamiento), el tipo de suelo, el drenaje superficial y la cobertura vegetal.

Se tiene como “detonantes” de estos eventos las precipitaciones pluviales periódicas y extraordinarias que caen en la parte alta de la zona de estudio. En la zona costera, la escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de las arenas, debido a que la dirección y velocidad de los vientos erosionan, transportan y depositan las partículas del suelo, formando mantos de arena o dunas (Villacorta *et al.*, 2015).

Finalmente, la cartografía realizada en campo, la toma de datos (fotografías y puntos de control) y la interpretación de imágenes satelitales fueron datos importantes para la elaboración del mapa de peligros geológicos que afectan al distrito de San Bartolo.

5.1 FLUJOS

Son movimientos en masa que durante su desplazamiento exhiben un comportamiento semejante al de un fluido; pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos. En muchos casos se origina a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Según la proporción de las fracciones sólidas y líquidas que conforman el flujo, así como por el mecanismo de movimiento y la velocidad del movimiento se pueden diferenciar hasta siete tipos diferentes de eventos: flujo seco, flujo de detritos, inundación de detritos, flujo de lodo, flujo de tierra, avalancha de rocas y avalancha de detritos (Varnes, 1978; Hungr *et al.* 2001 y Hungr, 2005).

Los flujos se pueden clasificar de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral (canalizado o no canalizado; (Figura 11) y otras características que puedan hacerlos distinguibles. Hungr & Evans (2004). Bateman *et al.*, 2006 identifica una zona de inicio que forma un embudo, una zona de transición o tránsito y una zona de depositación en abanico (Figura12). De la misma forma Iverson (1997) reconoce una zona de origen de los sólidos, distancia de recorrido y una zona de depositación (Figura.13).

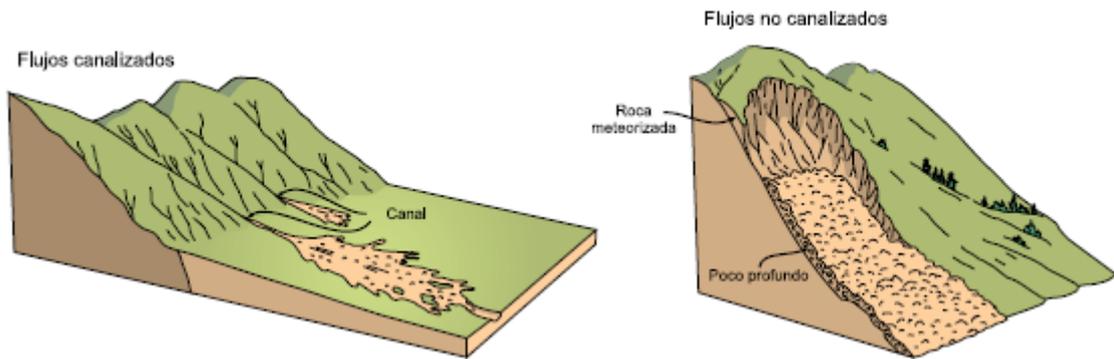


Figura 11. Esquema de flujos canalizados y no canalizados (Cruden & Varnes, 1996)

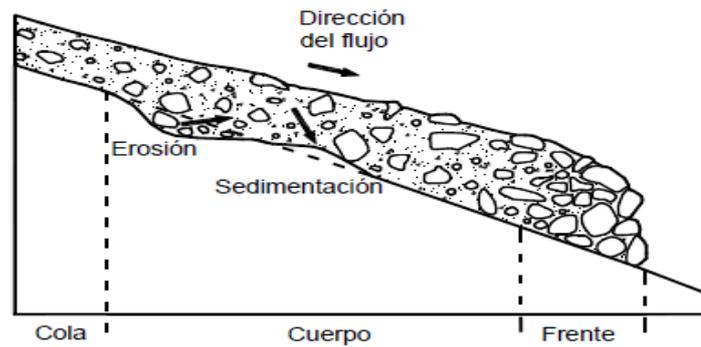
5.1.1 Flujo de Lodo

En la quebrada Cruz de Hueso se identificó este tipo de flujo, el cual, cruza la carretera Panamericana Sur antigua y generando un **peligro alto** en las poblaciones de San Bartolo y Punta Negra, adyacentes al curso de la quebrada y afectando la carretera, puentes y plataformas deportivas que se encuentran en su recorrido.

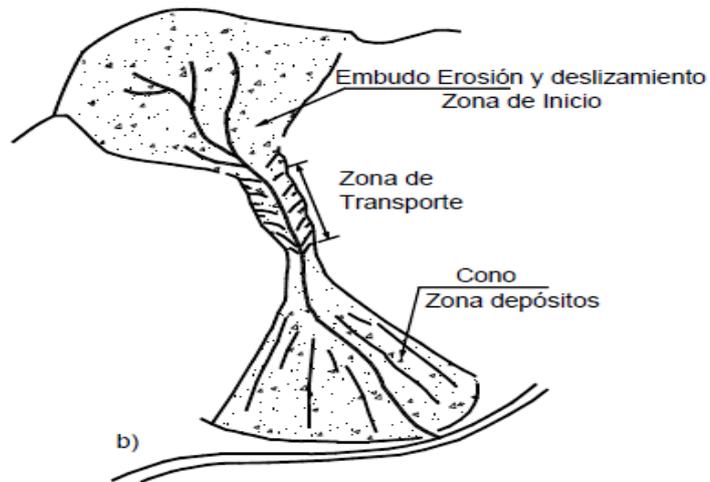
En los flujos de lodo predominan sedimentos de limos y arcillas. Generalmente, los flujos de lodo consisten en altas concentraciones de este tipo de partículas (limos y arcillas), aunque también transportan grandes bloques o cantos de roca, de hecho, el fluido se comporta como un "Slurry" homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones. (Suarez, J. 2012).

5.1.2 Flujo de detritos

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (índice de plasticidad menor al 5 %), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Los flujos de detritos pueden ser rápidos o lentos, saturados o secos y originarse a partir de otros procesos, como deslizamientos o desprendimientos de rocas (Varnes, 1978). Son capaces de transportar grandes volúmenes de fragmentos rocosos de diferentes tamaños y alcanzar grandes extensiones de recorrido, más aún si la pendiente es mayor.



a)



b)

Figura 12 Partes de un flujo (Bateman et. al 2006)

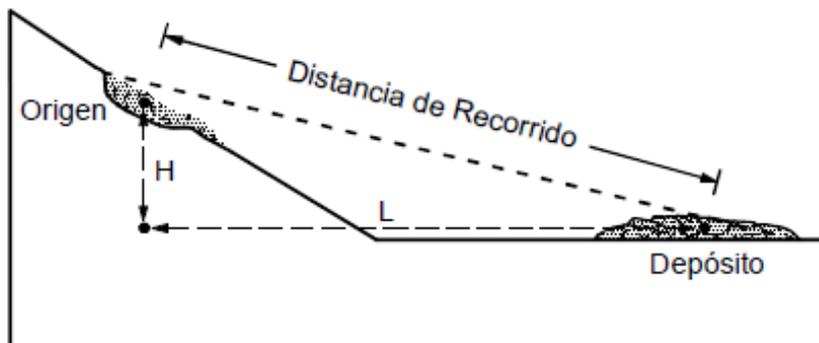


Figura 13 Partes de un flujo; origen, distancia de recorrido y zona de deposición (Iverson, 1997)

5.2 ARENAMIENTOS

Proceso activado por acción eólica, la velocidad y la dirección del viento dirigen el curso de las arenas, las cuales, pueden invadir terrenos de cultivo y obras de infraestructura diversa. Se identifican fácilmente por la presencia de acumulaciones de arena. Las construcciones realizadas sobre estas arenas son vulnerables a sismos.

La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de la arena, debido a que los vientos erosionan, transportan y depositan las partículas de suelo, en áreas secas donde el suelo no es retenido por la vegetación, favorecen la migración y acumulación de arena en forma de mantos de arena, médanos o dunas (Villacorta et al., 2008). Al noreste del distrito de San Bartolo la migración de arenas se ha extendido en un área aproximada de 1656 ha y ha formado mantos que han cubierto algunas colinas y zonas adyacentes. El arenamiento perjudica campos de cultivo y algunas viviendas.

5.3 EROSIÓN MARINA

Fenómeno que produce el desgaste de las formaciones rocosas en el borde litoral por acción del oleaje y la corriente marina. Asimismo, puede formar acantilados o afectar directamente las estructuras ubicadas cerca de la zona de influencia del oleaje marino. En ambos sectores de San Bartolo, la erosión en las playas Norte y Sur ha ocasionado desgaste, socavación y afectación de los muros de contención, berma y calles frente a las playas.

6. FLUJOS EN EL DISTRITO DE SAN BARTOLO

En esta quebrada, han existido flujos de detritos (huaicos) pasados y flujos de lodo, que afectaron viviendas, pozos, reservorios de agua y la carretera Panamericana Sur Antigua y Nueva, en el tramo de su cauce, esto debido a que existen vertederos hidráulicos (alcantarillas) con secciones no apropiadas para el paso de los flujos (Figuras 14, 15, 16 y 17), no acorde con el volumen de los eventos pasados y posibles eventos futuros, por ende, el flujo podría desbordarse como lo sucedido en los eventos del año 2017 por el fenómeno de El Niño y en marzo del año 2023 por el fenómeno Yaku, en este último se produjo un flujo de lodo que arrastro arena, limos, arcillas y cantos de 0.01-0.20m de formas subangulosas, el flujo descendió de la parte alta de la quebrada Cruz de Hueso recorriendo 13km aprox. hasta la carretera Panamericana (Figura 18). En el año 2017 el flujo se desbordó extendiéndose hacia el norte y sur de la carretera, afectando viviendas y calles tanto del distrito de San Bartolo como de Punta Negra.

Factores condicionantes y detonantes

Los factores condicionantes para la generación de flujos de lodo y detritos son:

- a) Pendiente del terreno, siendo la parte alta de la quebrada, en el distrito de Santo Domingo de los Olleros la parte escarpada y zona de inicio del este flujo.
- b) Laderas con procesos de erosión de laderas y suelo, que aportan material al cauce de la quebrada.
- c) Depósitos aluvio-torrenciales, producto de flujos de detritos antiguos, que son de fácil remoción.

- d) Substrato rocoso constituido por rocas volcánicas e intrusivas muy fracturadas y meteorizadas; el substrato al estar meteorizado e intensamente fracturado, genera rocas de fácil erosión y bloques de hasta 1.5 m de diámetro suspendidos en las laderas que pueden ser fácilmente removidos por un flujo de detritos.
- e) Actividades antrópicas como la ocupación inadecuada del terreno, a través del relleno de material que cruzan y obstruyen el cauce de la quebrada, como se observa en el puente de la carretera Panamericana Sur.
- f) Desvío del cauce natural de la quebrada debido a la presencia de “empresas” dedicadas a la extracción de material o agregados mediante canteras.

Los factores desencadenantes o detonantes son:

- a) El factor detonante para la generación de flujos es el incremento de las precipitaciones pluviales (lluvias extraordinarias).



Figura 14. Ambos lados del Puente de la antigua Panamericana Sur, se observa socavación de 1.2 m de la base de la plataforma. Las 03 alcantarillas tipo cajón presentan un lado de 2.5 m en un ancho total de 13 m. En la margen derecha se puede observar viviendas a 2 m aprox. de dicha margen. Las flechas punteadas azules indican la dirección del flujo.

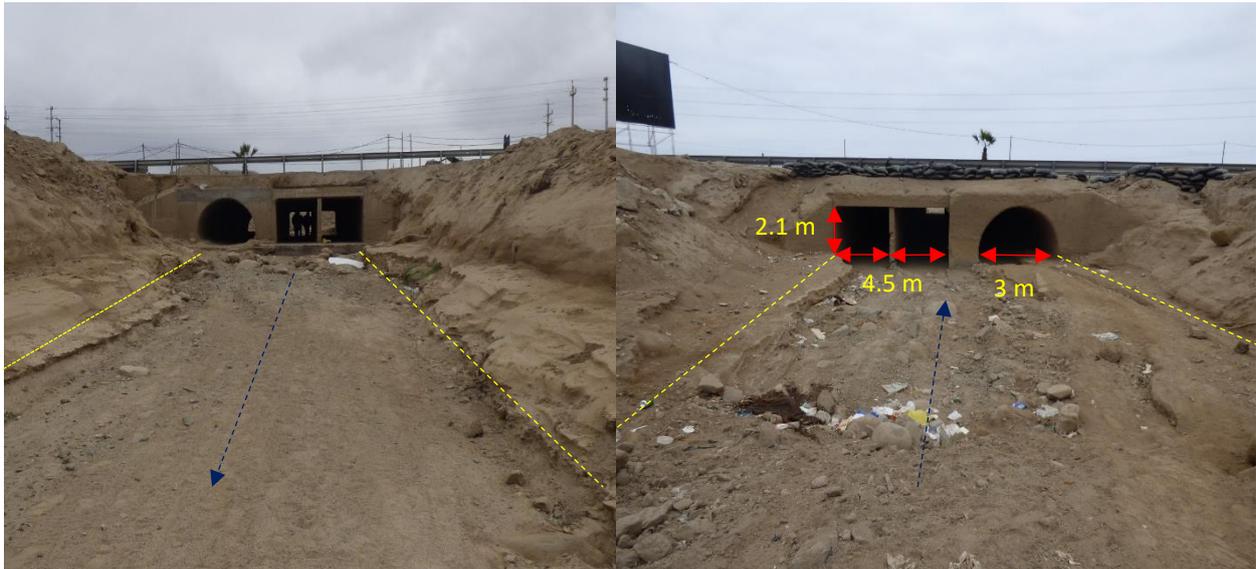


Figura 15. Puente de la carretera Panamericana Sur, se observan 2 alcantarillas cuadradas tipo cajón de 2.1 m de lado y una semicircular tipo arco de 3 m de diámetro. Las alcantarillas reducen el ancho y la altura del cauce de la quebrada, lo que conllevaría futuros desbordes de flujos, las flechas puntadas azules indican la dirección del flujo.



Figura 16. Puente de la carretera Panamericana Sur, las flechas amarillas indican el cauce (el cual se reduce en ancho y altura al llegar a la carretera panamericana a causa de las medidas de las alcantarillas bajo el puente) y la dirección del flujo. Las flechas marrones señalan una vía alterna que se elaboró rellinando el cauce de la quebrada, lo que podría generar desbordes a ambos lados de la quebrada y afectando tanto a la población de San Bartolo como a Punta Negra.

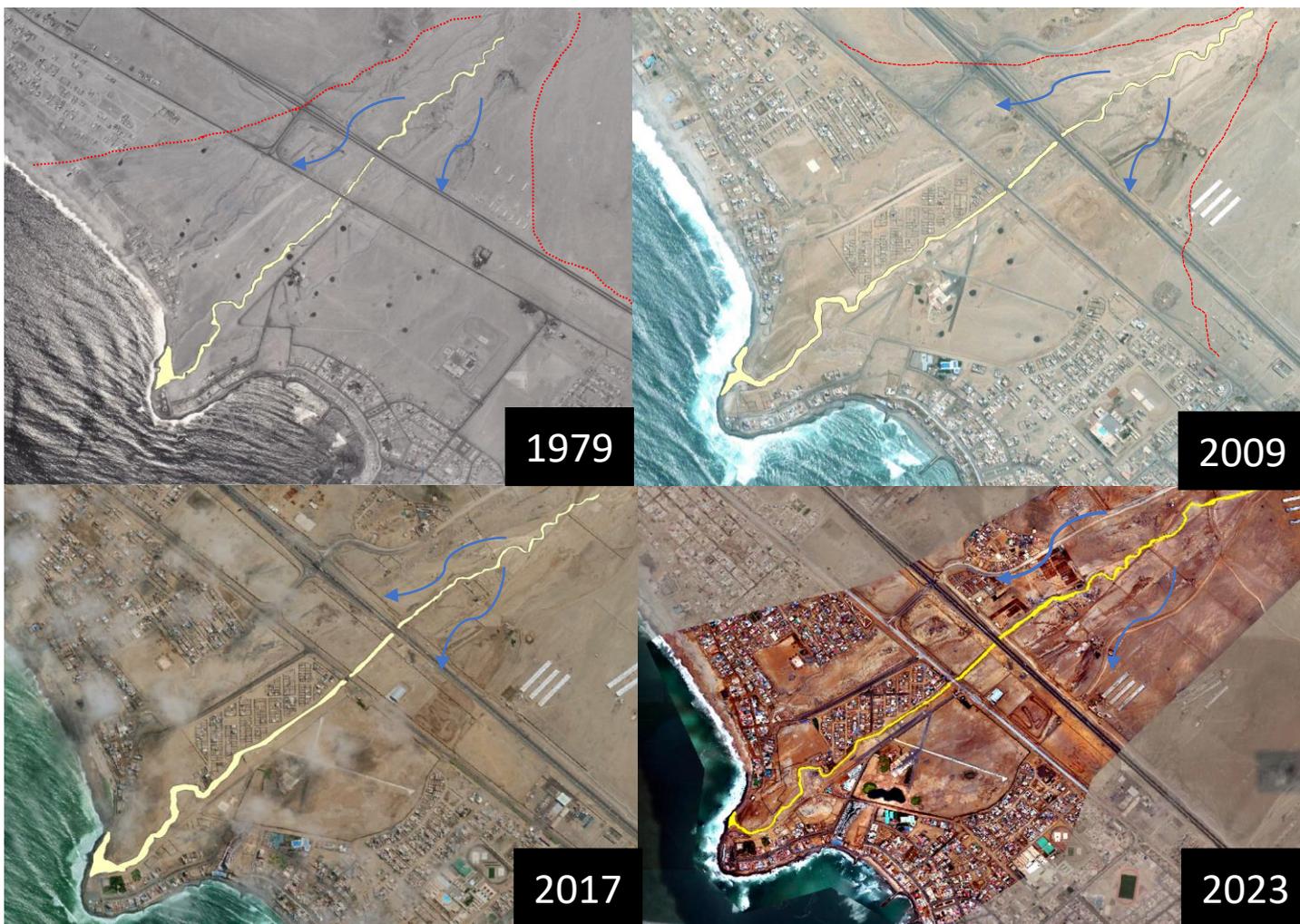


Figura 17. Imagen multitemporal de la quebrada Cruz de Hueso, las flechas azules indican el recorrido de los flujos fuera del cauce natural de la quebrada (amarillo).

7. ARENAMIENTOS EN EL DISTRITO DE SAN BARTOLO

En el litoral de Lima, la acción marina (erosión) está íntimamente relacionada con la producción de arenas, estas arenas son transportadas y depositadas por la acción eólica, desde la costa sur de Lima y en dirección SO-NE (Figuras 19, 20 y Fotografía 7). La ausencia y/o escasa precipitación es uno de los principales factores del avance de las arenas, que favorece la migración y acumulación de arena en forma de mantos de arena, médanos o dunas (Villacorta et al., 2015).

El mapa de susceptibilidad a los arenamientos, realizado por Villacorta et al (2015), muestra que las áreas susceptibles a este proceso, en el área de Lima Metropolitana, se localizan en las zonas cercanas al mar, donde las arenas no están compactadas, así como en las cercanías de dunas y mantos de arena. En menor grado se pueden encontrar mantos de arenas que cubren colinas bajas de las estribaciones de los Andes. Según el mapa de Villacorta et al (2015) el distrito de San Bartolo presenta de media a alta susceptibilidad a los

arenamientos (Figura 19), las arenas cubren las lomadas que se encuentran al noreste de la zona urbana de San Bartolo.

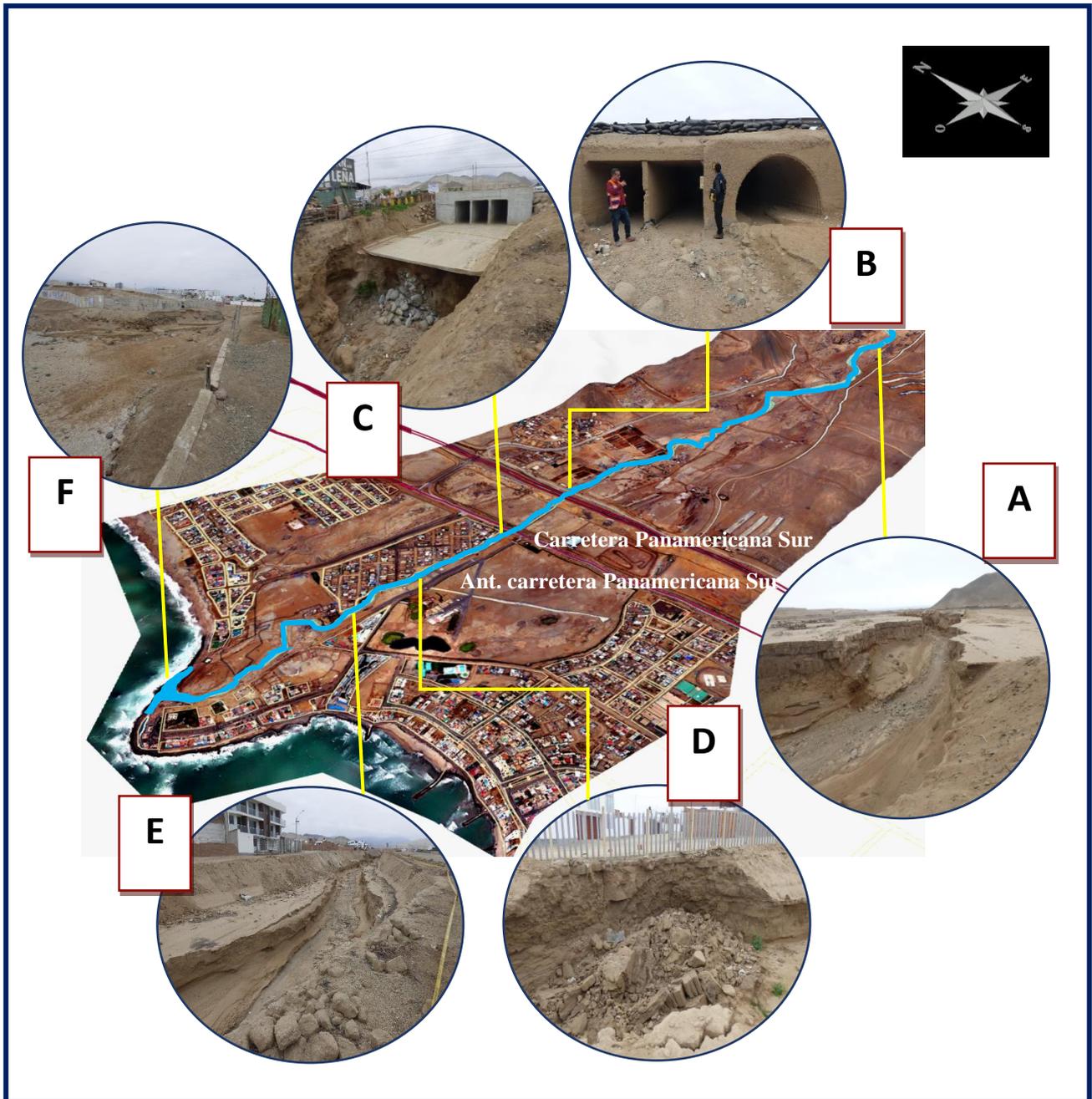


Figura 18. Vistas de distintos puntos del cauce de la quebrada Cruz de Hueso, distinguimos en **A.** Cauce principal socavada en la parte media alta de la quebrada. **B.** Alcantarillas en la carretera Panamericana Sur **C.** Alcantarillas socavadas en la antigua carretera Panamericana. **D.** Erosión de la margen derecha de la quebrada **E.** Viviendas cercanas de la margen derecha de la quebrada. **F.** Desembocadura del cauce de la quebrada Cruz de Hueso en el Océano.

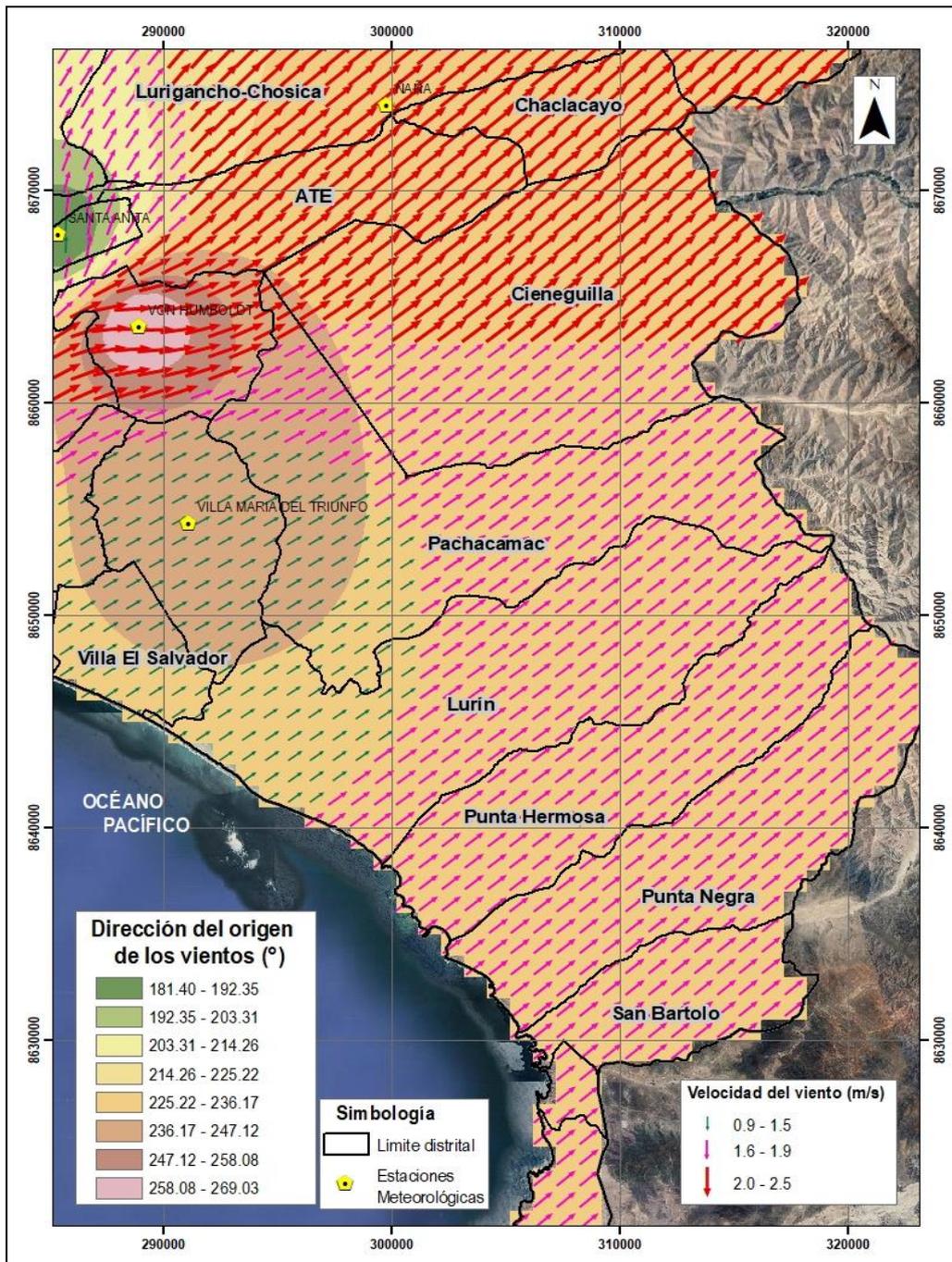


Figura 19 Mapa de dirección y velocidad de los vientos en el sur de Lima, Se observa que en el distrito de San Bartolo los vientos siguen una dirección de SO-NE y velocidades de 1.6-1.9 m/s.
 Fuente: SENAMHI, 2020-2022

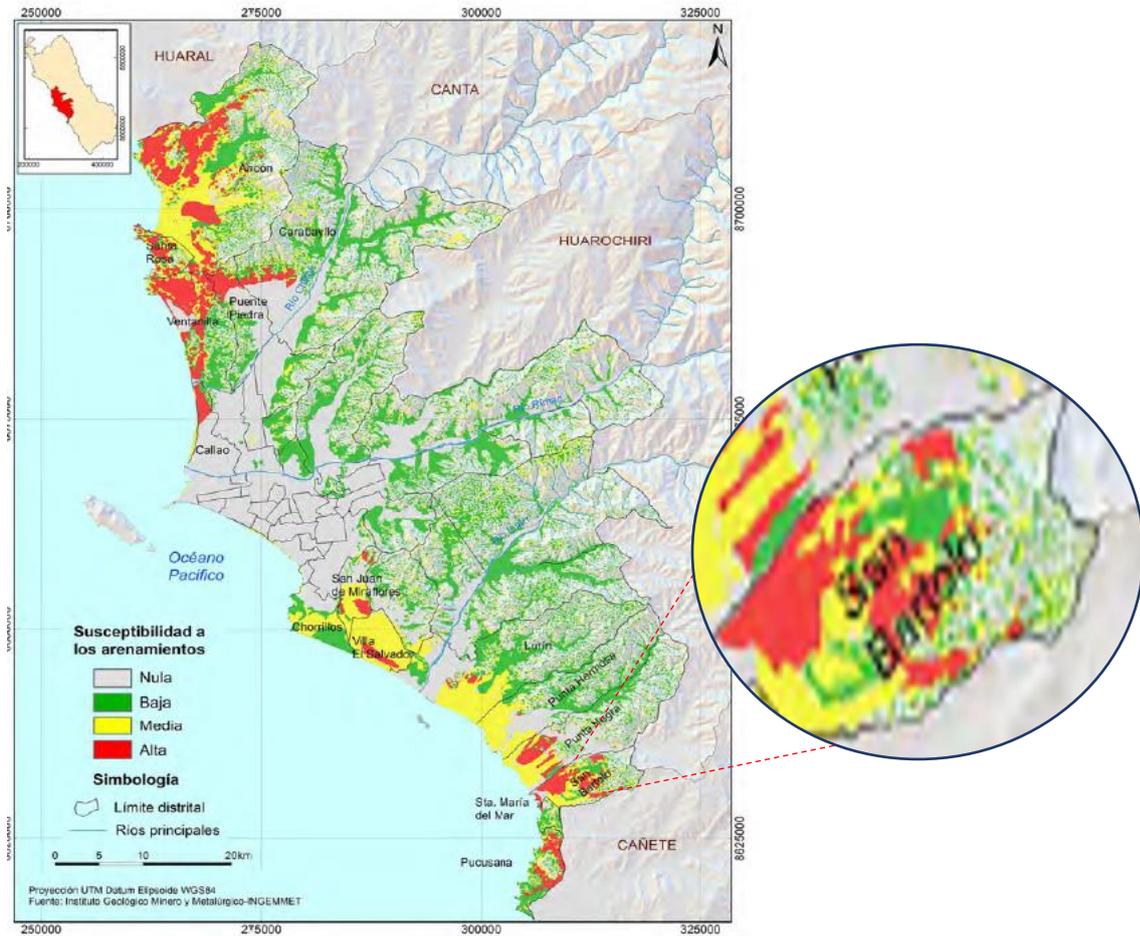


Figura 20 Susceptibilidad a los arenamientos del departamento de Lima. El distrito de San Bartolo presenta áreas de baja, media y alta susceptibilidad a este proceso (Villacorta et.al., 2015).



Fotografía 7. En la parte NE del distrito de San Bartolo en la margen izquierda de la quebrada Cruz de Hueso, la migración de arenas ha formado mantos que han cubierto algunas colinas y zonas adyacentes. El arenamiento perjudica campos de cultivo y algunas viviendas.

8. EROSIÓN MARINA EN EL DISTRITO DE SAN BARTOLO

La erosión marina se define como el retroceso progresivo de la línea de costa cuyas causas pueden ser de origen natural, así como también antropogénicas. Entre las causas naturales se encuentra: La interacción de procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y con la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa, y entre las causas antropogénicas a las inducidas por el hombre cuando actúa sobre el medio natural, como es la construcción de infraestructura sobre las dunas costeras (Manrique S., 2012).

Eurocion, 2005. define la erosión costera como el avance del mar sobre la tierra, medido en un periodo de tiempo suficientemente amplio para eliminar las fluctuaciones del clima, de los temporales y de los procesos sedimentarios a nivel local. Esto significa que si este proceso es constante en el tiempo de este retroceso, se tiene que analizar si ese estado es realmente erosivo ya que puede ocurrir que los sedimentos de la playa que antes estaba en su zona seca, se haya movido a la zona sumergida, o que exista un desequilibrio sedimentario a lo largo de todo el sistema litoral. Entonces solo existirá erosión cuando el sistema litoral en su conjunto ha perdido sedimento.

La erosión marina en el distrito de San Bartolo ha sido progresiva, la línea de costa ha retrocedido considerablemente, perdiendo gran parte de la superficie de las playas tanto en playa Norte, donde se presenta una erosión de longitud aproximada de 150m, como playa Sur, con una erosión aproximada de 200m, los volúmenes de material en ambas playas ha disminuido a causa de este evento, llegando a socavar las barreras que delimitan las vías de transporte, y viviendas frente al litoral (Figuras 21,22,23). Tanto los sectores de playa Norte y playa Sur son considerados en **Alto peligro** por erosión marina.



Figura 21. Playa Sur, se observa erosión marina, cuyo proceso, influenciado por el oleaje, ha generado desgaste, socavación y afectación del muro de contención.



Figura 22 Playa Norte. el oleaje ha socavado la base del muro de protección como lo señalan las flechas rojas. La distancia de la línea de costa (líneas punteadas amarillas) hacia el muro es de 1 m a 3 m.

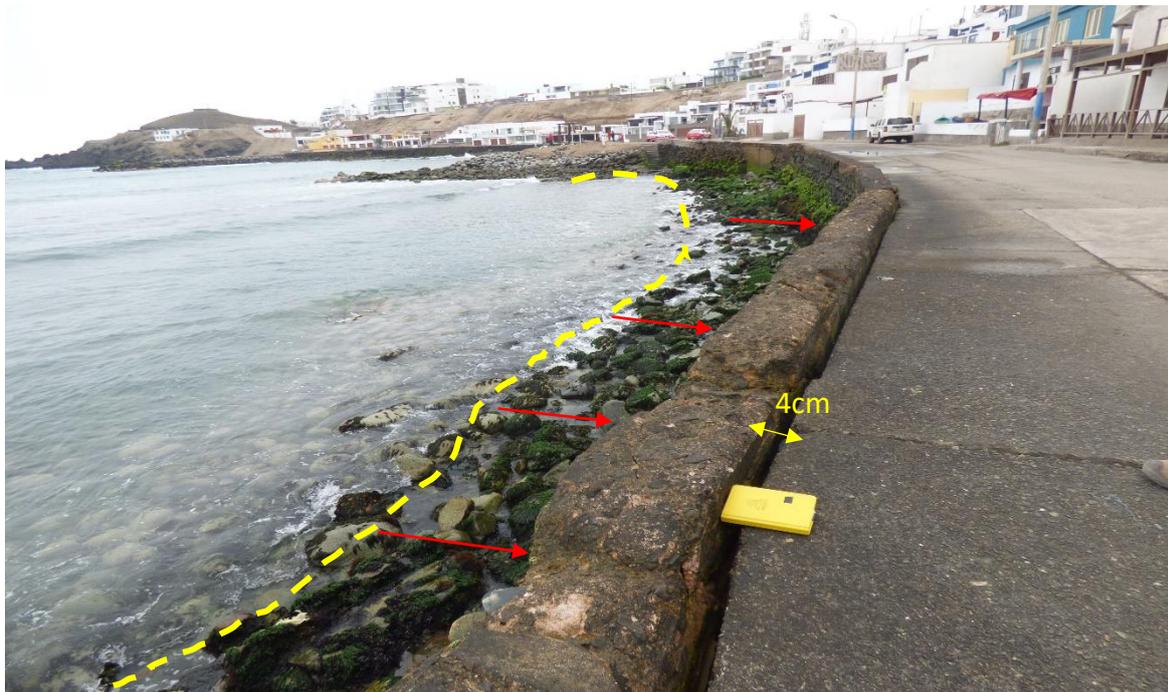


Figura 23 Otro sector de playa norte. La erosión ha disminuido la superficie de la playa, producto del avance de la línea de costa (línea amarilla punteada) y ha afectado el muro de contención, provocando una separación con respecto a la berma de 4 cm.



Figura 24 El fuerte oleaje ha socavado las bases de los muros de contención y ha provocado la aparición de grietas en la vereda y pista por donde filtra el agua.

9. CONCLUSIONES

- a) Las viviendas, áreas de cultivo, los puentes de la carretera Panamericana Sur (antigua y nueva), que se ubican en ambas márgenes de la quebrada Cruz de Hueso, se encuentran en zonas susceptibles a la ocurrencia de flujos de detritos. La población que se encuentra en la zona del balneario, frente a la línea de costa, se encuentra en una zona susceptible a erosión marina.
- b) Geomorfológicamente, las viviendas se encuentran sobre piedemontes aluvio-torrenciales, terraza marina y planicie aluvial formados por la quebrada Cruz de Hueso, con pendientes que varían entre 0°-15° en los alrededores se encuentran montañas, colinas y lomadas en rocas intrusivas, volcánicas y volcano-sedimentarias.
- c) El distrito de San Bartolo se encuentra afectado por los peligros geológicos: flujo de lodo, detritos, erosión marina y arenamientos. Los flujos de lodo y detritos son detonados por la ocurrencia de lluvias intensas y/o excepcionales en la parte alta de la quebrada y la ocupación urbana no planificada contribuye a la exposición de la población ante estos peligros. La erosión marina ha sido progresiva, la línea de costa ha retrocedido considerablemente por causa del oleaje anómalo. Los arenamientos originados por la acción eólica, también afectan algunas viviendas de la zona media y alta de la quebrada al oeste de la carretera Panamericana Sur.
- d) Por las condiciones geológicas-geodinámicas, la zona urbana del distrito de San Bartolo cercanas a las márgenes de la quebrada Cruz de Hueso, son considerados como **zonas críticas**, de **alto peligro** por flujo de lodo y detritos ante presencia de lluvias intensas y/o extraordinarias.
- e) Los flujos de lodo y detritos en el distrito, a la fecha, se encuentran inactivos; sin embargo, los mismos pueden activarse de originarse lluvias anómalas como ocurre con la llegada del Fenómeno El Niño.
- f) Los arenamientos del distrito de San Bartolo, modifican la superficie de colinas y lomadas, forman dunas, estos lugares de acumulación y distribución de la arena está influenciado por la velocidad y dirección de los vientos. Cuando llueve son de fácil erosión.
- g) Los factores que han influenciado en el aumento de la erosión marina son: dirección y velocidad de los vientos, lo que influye en el oleaje costero, características geológicas y geomorfológicas del acantilado (XXX).
- h) Las áreas afectadas por erosión marina observadas en el distrito de San Bartolo, por las condiciones geomorfológicas y geodinámicas, se consideran como **Zonas Críticas de Peligro Alto** ante erosión marina

10. RECOMENDACIONES

- a) La Municipalidad Distrital de San Bartolo debe solicitar al ANA la delimitación de la faja marginal de la quebrada Cruz de Hueso para luego monumentar los hitos.
- b) Reubicar las viviendas y granjas que se encuentren dentro de la faja marginal de la quebrada Cruz de Hueso.
- c) Tener un plan de urbanización que impida la construcción de viviendas en el cauce de quebrada Cruz de Hueso mediante ordenanzas municipales.
- d) Ampliar el ancho de la quebrada y hacer limpiezas periódicas al cauce, esto contribuirá a facilitar el recorrido del flujo a través de su cauce.
- e) Reestructurar las dimensiones de las alcantarillas de la carretera Panamericana sur y la antigua carretera Panamericana, esto para facilitar el recorrido del flujo y evitar el colapso de dichas alcantarillas y posibles desbordes de los flujos.
- f) Prohibir la obstrucción del cauce de la quebrada por vías alternas informales para evitar que se desborde ante avenidas excepcionales.
- g) La Municipalidad Distrital en coordinación con INDECI debe implementar un sistema de alerta temprana (SAT) comunitario, en temporadas de lluvias intensas y/o excepcionales para alertar con anticipación a la población implicada y se puedan realizar evacuaciones oportunas. Así como un sistema de señalización de rutas de evacuación ante la amenaza de flujos de detritos por lluvias intensas. Esto debe comprender simulacros de evacuación para flujos.
- h) Construir muros de contención en ambas márgenes de la quebrada Cruz de Hueso en la parte urbana y forestar la parte alta de la quebrada.
- i) La Municipalidad Distrital de San Bartolo en convenio con INDECI y CENEPRED deben trabajar de manera conjunta en trabajos de capacitación, sensibilización a la población en Gestión del Riesgo de Desastres, esto facilitará la comprensión del tipo de eventos a la que la población se encuentra expuesta y agilizaría las medidas preventivas y reactivas en caso se genere un flujo de lodo y detritos.
- j) Para el caso de la erosión marina se recomienda reforzar la construcción de espigones, mejorar los taludes de las pistas cercanas a las playas. Así como una barrera marina con cimentación profunda de concreto armado ancha con cresta terminal curva frontal hacia el mar para el control preventivo ante el impacto de oleaje anómalo, también realizar el drenaje posterior a la barrera contra salpicaduras mínimas del oleaje.
- k) Las obras de rehabilitación deben ser dirigidas y ejecutadas por profesionales con conocimiento y experiencia en el tema.


Ing. GRISELDA OFELIA LUQUE POMA
Especialista en Peligros
Geológicos
INGEMMET

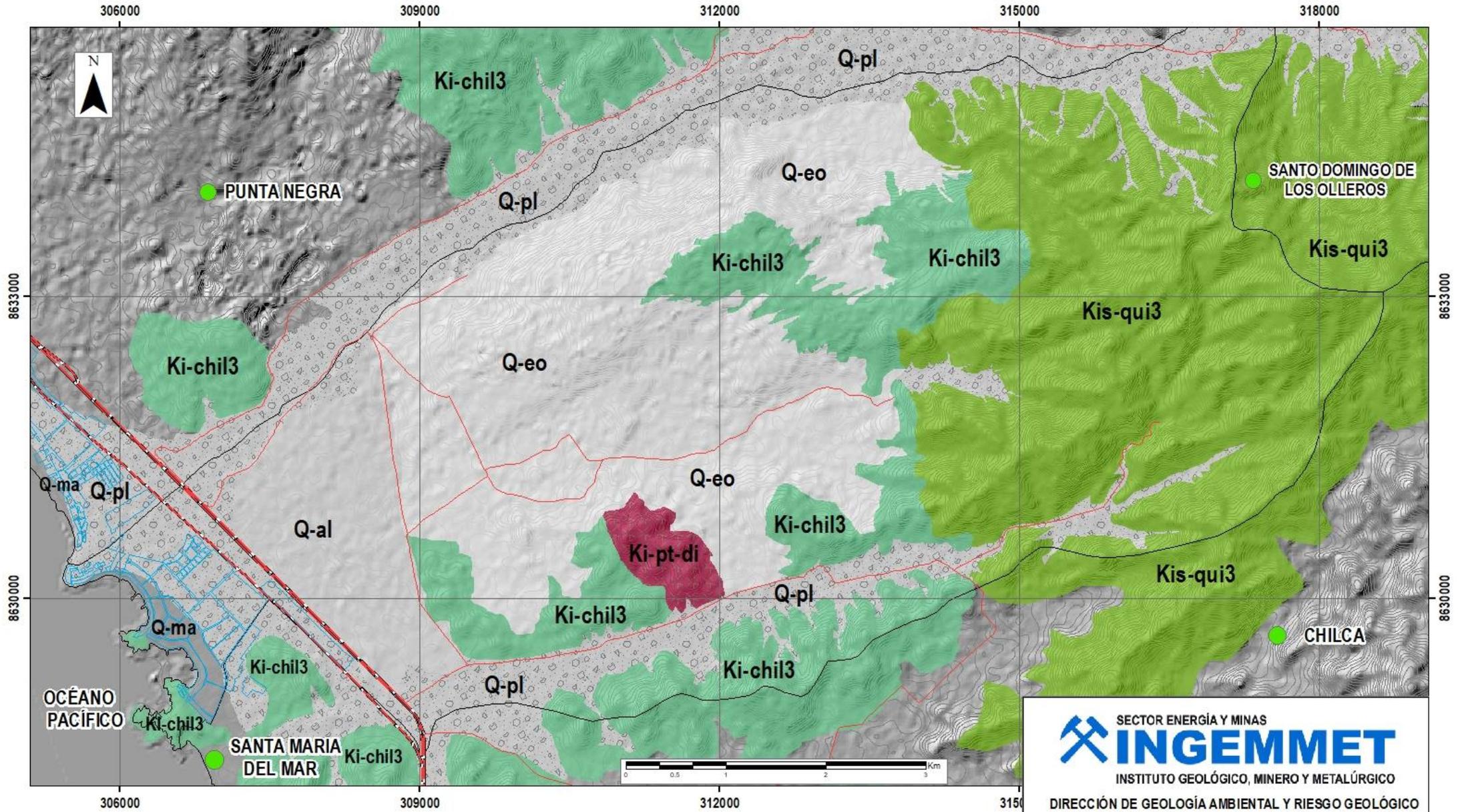

ING. JERSY MARIÑO SALAZAR
Director (e)
Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico
INGEMMET

11. BIBLIOGRAFÍA

- Castro, R. (2014). Evaluación del riesgo de desastres por peligros naturales y antrópicos del área urbana del distrito de Punta Hermosa. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 240 p.
- Tejada, R. (2016). "Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín-Pucusana (provincia de lima)". Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú, 240 p.
- Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996). Landslides Types and Processes in Turner, A.K and Schuster, R.L. Editores (1996). Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 672 p.
- Hungr, O. & Evans, S.G. (2004). Entrainment of debris in rock avalanches: an analysis of a long run-out mechanism: Geological Society of America Bulletin, v.
- Guzmán, A.; Fídel, L.; Aniya, R. & Zavala, B. (1998). Estudio geotécnico de futuras áreas de expansión urbana entre Lima y Cañete. INGEMMET, Boletín Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 20, 243 p
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico (2017). Peligros geológicos y geohidrogeológicos detonados por el evento del Niño Costero 2017 en la región Lima y parte de Ica. INGEMMET. Boletín Serie A N°67589, 169p
- Núñez, S. & Vásquez, J. (2009). Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana. Informe Técnico Preliminar. INGEMMET, 38 p.
- Palacios, O; Caldas, J. & Vela, Ch. (1992). Geología de los cuadrángulos de Lima, Lurín, Chancay y Chosica (24-i, 24-j, 25-i, 25-j). INGEMMET, Boletín Serie A: Carta Geológica Nacional, 43, 163 p
- 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.
- Tejada, R. (2017). "Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín-Pucusana (provincia de lima)". Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú, 240 p.
- Varnes, J. (1978). Slope movements types and processes. En: SCHUSTER, L. y KRIZEK, J. Ed, Landslides analysis and control. Washington D.C.National Academy Press Transportation Research Board Special Report 176, p.

- Villacorta, S.; Chambi, G.; Carlotto, V. & Fídel, L. (2008). Atlas ambiental de Lima Metropolitana: mapas de susceptibilidad en el ordenamiento territorial. En XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos. Sociedad Geológica del Perú. Pág. 171-174.
- Villacorta, S.; Núñez, S.; Tatard, L.; Pari, W. & Fídel, L. (2015). Peligros geológicos en el área de Lima Metropolitana y la región Callao, INGEMMET. Boletín, Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, 59, 156 p., 07mapas
- Villota, H. (2005). Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras (2a ed.). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

ANEXOS



SIMBOLOGÍA	
	Distritos
	Carretera
	Curvas de nivel
	Vías de acceso
	Viviendas
	Límite Distrital

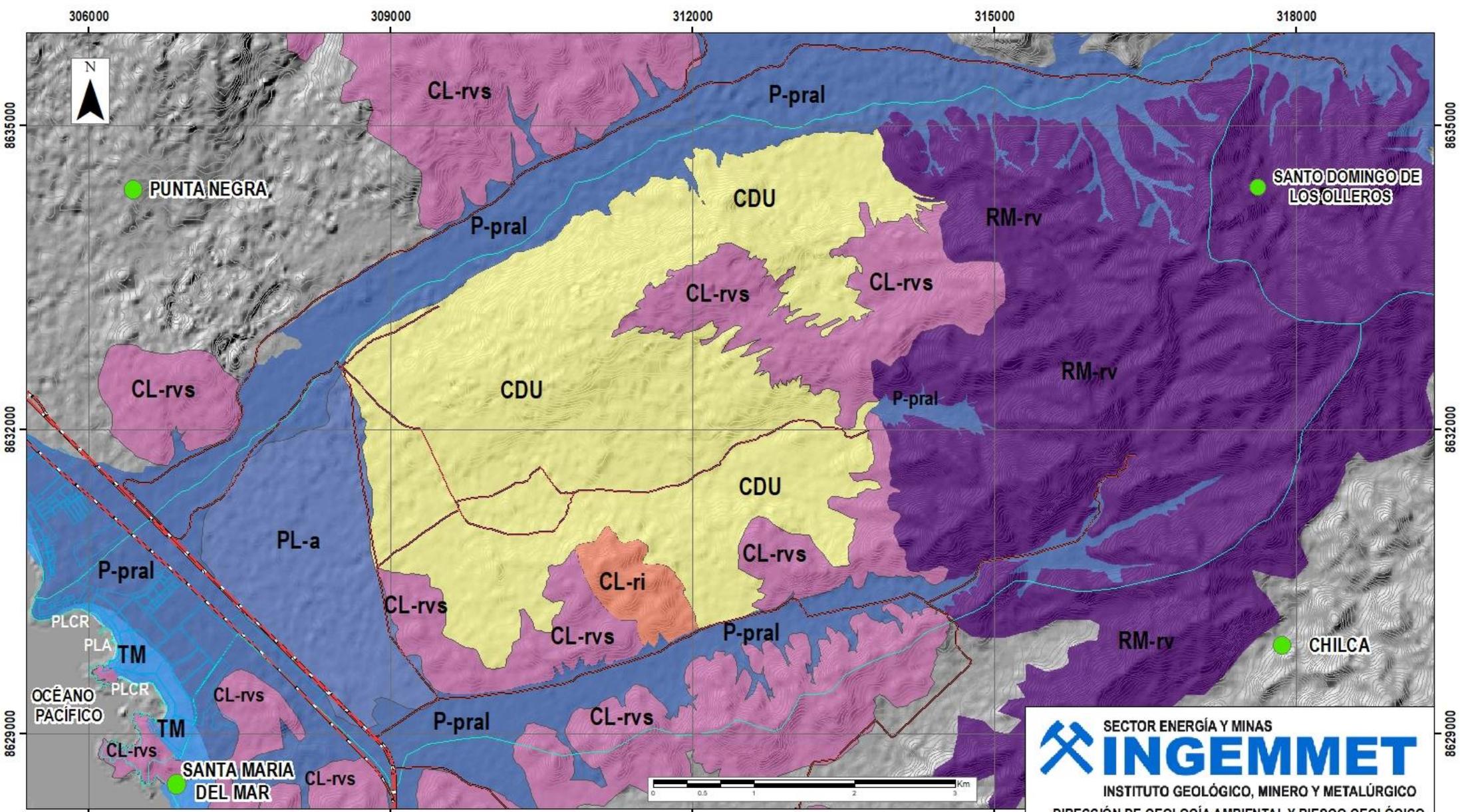
UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS					
	Ki-chil3	Formación Chilca		Q-eo	Depósito Eólico
	Kis-qui3	Formación Quilmaná		Q-al	Depósito Aluvial
	Ki-pt-di	Súper Unidad Patap		Q-ma	Depósito Marino
	Q-pl	Depósito proluvial			


 SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SAN BARTOLO

MAPA GEOLÓGICO

Escala: 1/35,000	Elaborado por: Córdova, F.	MAPA 01
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2023 Impreso: Octubre, 2023		



SIMBOLOGÍA	
	Distritos
	Carretera
	Curvas de nivel
	Vías de acceso
	Viviendas
	Límite Distrital

LEYENDA			
	CDU Campo de dunas		CL-ri Colina y lomada en roca intrusiva
	M-rv Montaña en roca volcánica		CL-rvs Montaña en roca volcánica
	PL-a Planicie aluvial		PLCR Playa de canto rodado
	TM Terraza marina		PLA Playa de arena
	P-pral Piedemonte aluviotorrencial		

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SAN BARTOLO

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Escala: 1/35,000	Elaborado por: Córdova, F.	MAPA 02
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2023 Impreso: Octubre, 2023		

308000

311000

314000

317000



PUNTA NEGRA

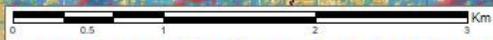
SANTO DOMINGO DE LOS OLLEROS

SAN BARTOLO

CHILCA

SANTA MARIA DEL MAR

OCÉANO PACÍFICO



308000

311000

314000

SIMBOLOGÍA	
	Distritos
	Carretera
	Vías de acceso
	Viviendas
	Límite Distrital

RANGO DE PENDIENTES					
	0° - 1°	TERRENO LLANO		15° - 25°	PENDIENTE FUERTE
	1° - 5°	TERRENO INCLINADO CON PENDIENTE SUAVE		25° - 45°	PENDIENTE MUY FUERTE A ESCARPADA
	5° - 15°	PENDIENTE MODERADA		> 45°	TERRENO MUY ESCARPADO

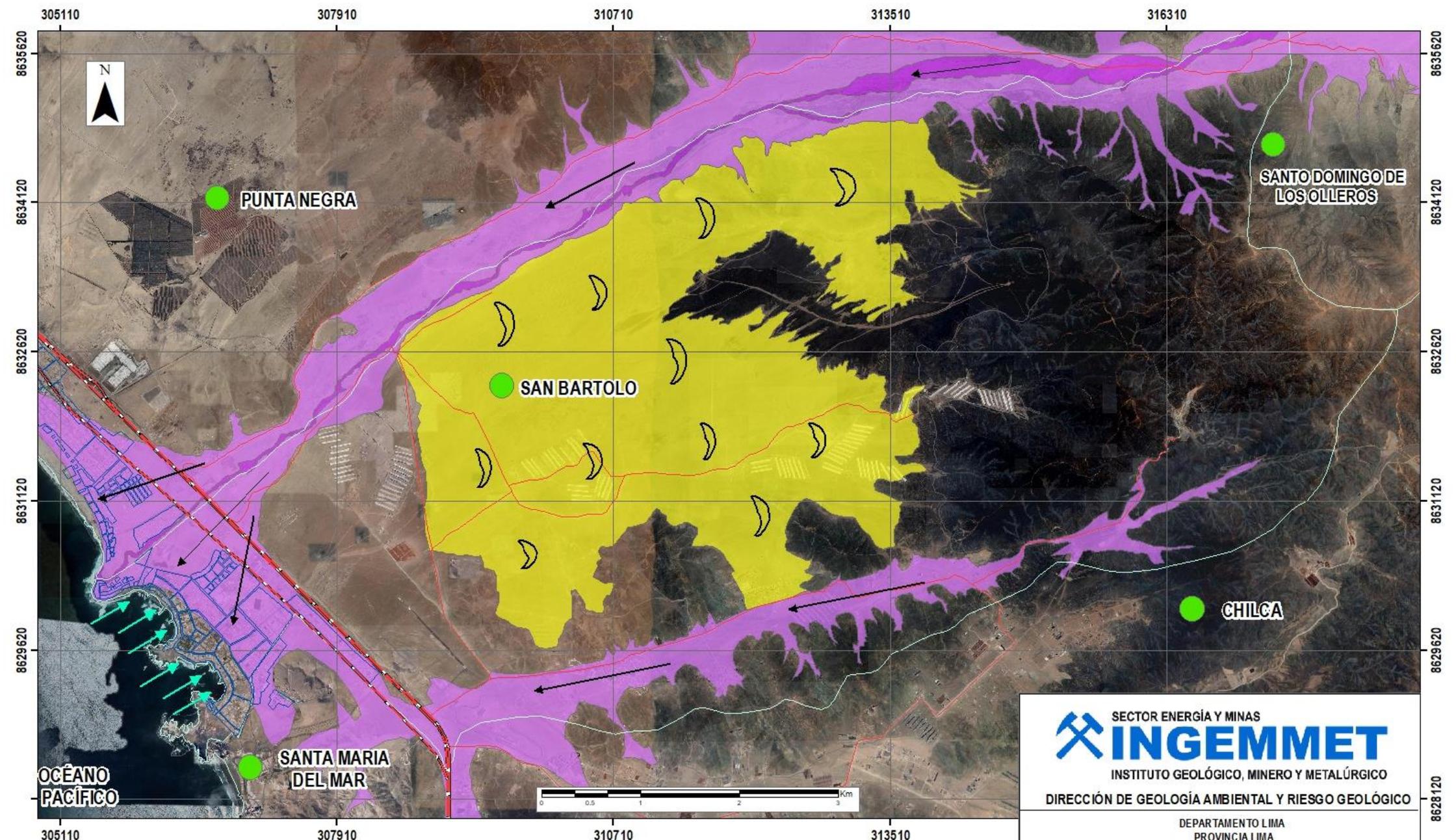


SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO

DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SAN BARTOLO

MAPA DE PENDIENTES

Escala: 1/35,000	Elaborado por: Córdova, F.	MAPA 03
Proyección: UTM Zona 18 Sur Datum: WGS 84		
Versión digital 2023 Impreso: Octubre, 2023		



SIMBOLOGÍA	
	Distritos
	Carretera
	Dirección del movimiento
	Vías de acceso
	Viviendas
	Limite Distrital

LEYENDA			
	FLUJO DE DETRITOS INACTIVO LATENTE		ARENAMIENTO
	FLUJO DE LODO INACTIVO LATENTE		EROSIÓN MARINA

SECTOR ENERGÍA Y MINAS
INGEMMET
 INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO
 DIRECCIÓN DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y RIESGO GEOLÓGICO
 DEPARTAMENTO LIMA
 PROVINCIA LIMA
 DISTRITO SAN BARTOLO

MAPA DE PELIGROS		
Escala: 1/35,000	Elaborado por: Córdova, F.	MAPA 04
Proyección: UTM Zona 18 Sur	Datum: WGS 84	
Versión digital 2023	Impreso: Octubre, 2023	

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y/O MITIGACIÓN EN LA ZONA EVALUADA

A partir de las condiciones geomorfológicas, geológicas y estudiados en el campo, que caracterizan la susceptibilidad de los peligros geológicos identificados en el distrito de Punta Hermosa, se requieren de medidas estructurales para poder mitigar y prevenir futuros desastres.

Con ello, se pueden resumir y describir algunas medidas que pueden considerarse para reducir la vulnerabilidad y por tanto el riesgo a estos procesos naturales. En esta sección se dan algunas propuestas de intervención de forma general para la zona evaluada con la finalidad de minimizar las ocurrencias de los procesos identificados; así como también, evitar la generación de nuevas ocurrencias o eventos futuros que causen daños.

1.1. MITIGACIÓN DE PELIGROS POR FLUJOS

Con la finalidad de prevenir y/o atenuar los daños producidos por los flujos de detritos (huaicos) en el distrito de Punta Hermosa, se presentan algunas medidas que pueden considerarse para reducir los efectos que pudieran ocasionar el evento. Las medidas que se proponen son las siguientes:

- Encauzamiento del canal principal de la quebrada Cruz de Hueso desde su nacimiento (parte alta de la quebrada) hasta su desembocadura, con remoción selectiva de los materiales gruesos.
- Permitir el crecimiento de la cobertura vegetal nativa a lo largo del cauce de la quebrada y en las zonas circundantes a ella, asegurando su estabilización, así como la disipación de la energía de las corrientes.
- Es necesario descolmatar los cauces de las quebradas afluentes, para aliviar la carga sólida de la quebrada Cruz de Hueso en tiempos de lluvias excepcionales y crecida. Con esto se lograría atenuar los flujos de detritos que se generen y colmate su cauce.
- Construir muros de contención en ambos márgenes de la quebrada, para evitar la erosión del terreno en zonas donde se podría afectar las viviendas asentadas cerca al cauce de la quebrada.

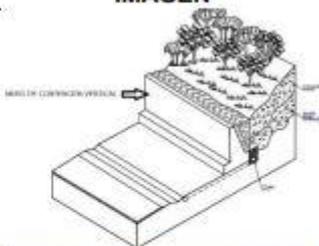
1.2. MITIGACIÓN DE EROSIÓN MARINA

En este ítem se puede observar una tabla con los métodos estructurales y no estructurales de las diferentes estrategias utilizadas en el mundo para el control de la erosión en las costas, con sus respectivas ventajas y desventajas, impacto visual de las estructuras, al igual su efectividad para controlar la erosión y la importancia de los

antecedentes de cada uno de los métodos. Estos métodos son los más usados en los diferentes continentes y se están implementando nuevas metodologías para desarrollar novedosas estrategias en el proceso de combatir la erosión. A continuación, se presentan cada metodología.

Tabla 1. Estado del arte de los métodos estructurales

MÉTODO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Rompeolas		Estructura rocosa construida paralelo a la costa a una distancia considerable de altura entre 1.5m – 2m.	http://www.coastal.gov.bb/pageselect.cfm?page=54 .
Gavión		Muro de rocas sujetos con mallas de alta resistencia.	http://www.coastal.gov.bb/pageselect.cfm?page=54 .
Revestimiento		Depósito de material rocoso con pendiente entre 6° - 10° de inclinación entre el mar y la zona terrestre.	http://www.coastal.gov.bb/pageselect.cfm?page=54 .
Espolón		Consiste en el armado de una estructura rocosa perpendicular a la línea costera.	http://www.coastal.gov.bb/pageselect.cfm?page=54 .
Muro de contención curvo		Estructura de concreto y refuerzo de alta resistencia construida frente al mar con una inclinación hacia costa adentro.	http://www.coastal.gov.bb/pageselect.cfm?page=54 .

MÉTODO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN	FUENTE
Muro de contención vertical		Estructura de concreto y refuerzo las cuales pueden llegar a tener alturas considerables dependiendo del uso.	http://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html .
Arrecife artificial		Estructura de concreto de alta resistencia con perforaciones ubicadas en fondo del mar.	http://www.answers.com/topic/artificial-reef
Accropode		Bloques de concreto de alturas máximo de 3m, las cuales son ubicadas en frente de las costas.	http://www.answers.com/topic/accropode
Dolos		Estructura de concreto diseñadas con forma de dos tees, altura máximas de 1.5m.	http://www.answers.com/topic/dolos

Ejemplo del muro de contención curvo se tiene en la Punta-Callao, se trata de una barrera marina mixta con cimentación profunda conformada por base de enrocado con concreto ciclópeo y estructura superior de concreto armado ancha con cresta terminal curva frontal hacia el mar. Considerando una altura optima de la estructura superior desde el ras de la playa, protegida frontalmente por un pequeño talud de enrocado con concreto que sobresale de la misma base superior de enrocado, prevaleciendo siempre 2.5 m aproximadamente de estructura final desde el ras del pavimento, para el control preventivo ante el impacto de oleaje anómalo y hacer graderías en tramos específicos hacia el mar, también realizar el drenaje posterior a la barrera contra salpicaduras mínimas del oleaje, (ver fotografía 8 de barrera marina construida en la Punta Callao). Dicha obra debe ser diseñada, ejecutada y supervisado por especialistas geotécnicos.



Fotografía 8 Imagen a tomar en cuenta de Barrera rompeolas del distrito La Punta Región Callao, vista de enrocado al pie de la barrera o dique rompeolas de concreto. Fuente: Tripadvisor.com.pe