

ANEXO

PLAN MAESTRO DE DESARROLLO DE LA COSTA VERDE 2026 – 2040

DIAGNÓSTICO-GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

**Instituto Metropolitano de Planificación (IMP)
Autoridad del Proyecto Costa Verde (APCV)**

ÍNDICE

1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	7
1.1. INTRODUCCIÓN	7
1.2. MARCO NORMATIVO	8
1.3. OBJETIVO GENERAL	9
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
1.5. METODOLOGÍA	10
1.6. ANTECEDENTES DE ESTUDIOS TÉCNICOS	12
1.6.1. Estudios sobre Peligros Geológicos y Estabilidad de Taludes	12
1.6.2. Estudios Hidro-oceanográficos y Dinámica Litoral	12
1.6.3. Estudios Estratégicos y de Planificación en GRD	13
1.7. EVENTOS HISTÓRICOS EN LA COSTA VERDE	13
2. CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO	19
2.1. UBICACIÓN	19
2.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS	22
2.2.1. Clima	22
2.2.2. Temperatura	22
2.2.3. Humedad Relativa	24
2.2.4. Dirección y Velocidad de los Vientos	24
2.2.5. Precipitación	25
2.2.6. Eventos Extraordinarios Asociados a Lluvias	26
2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA	26
2.3.1. Inventario de fuentes de agua	27
2.3.2. Parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica)	29
2.3.3. Unidades hidrogeológicas identificadas	31
2.3.4. Síntesis diagnóstica hidrogeológica	32
2.4. GEOMORFOLOGÍA	33
2.4.1. Planicie Aluvial	33
2.4.2. Acantilados	33
2.4.3. Terraza Antropogénica (Alta y Baja)	37
2.4.4. Terraplén y Espigones:	39
2.4.5. Cárcavas y Surcos:	41
2.4.6. Borde Litoral y Playa	43
2.4.7. Depósitos Coluviales	45
2.5. GEOLOGÍA	47
2.5.1. Abanico Aluvial de Lima:	47
2.5.2. Conglomerado del Acantilado:	49
2.5.3. Basamento Rocoso-extremo meridional de la Costa Verde	50
2.6. ANÁLISIS GEOFÍSICO.	53
2.6.1. Contexto geomorfológico general del litoral	53
2.6.2. Marco sismotectónico del área de estudio	54
2.6.3. Sismicidad histórica e integridad del catálogo sísmico	55
2.6.4. Metodología del análisis probabilístico y coeficiente sísmico para taludes	59
2.6.5. Análisis Geofísico y Peligro Sísmico por Distrito	59

2.6.6. Cuadro comparativo de resultados PSHA por distrito	70
2.7. TOPOGRAFÍA	72
2.8. PENDIENTE	74
2.8.1. Análisis del área de estudio	74
2.8.2. Análisis de pendientes a nivel de geoformas	75
2.9. GEOTÉCNICA	78
2.9.1. Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo	79
2.9.2. Evaluación de Estabilidad de Talud y Comportamiento Geotécnico	81
2.10. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA OCEANOGRÁFICA	82
2.10.1. Batimetría	82
2.10.2. Dinámica Costera	82
2.10.3. Geomorfología Litoral	87
2.10.4. Sedimentación del Fondo marino y de playas	88
2.10.5. Fenómenos marinos anómalos y su interacción con la infraestructura existente	91
2.10.6. Factores Condicionantes del Borde Costero	91
3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE PELIGRO	92
3.1. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE PELIGROS	92
3.2. ANÁLISIS DE ASPECTOS FÍSICOS DEL ÁMBITO DE ESTUDIO	93
3.3. PELIGRO POR MOVIMIENTOS SÍSMICOS	95
3.3.1. Análisis de las Condiciones Sísmicas	95
3.3.2. Condiciones Tectónicas y Sismotectónica	97
3.3.3. Determinación del peligro por sismos	99
3.4. PELIGRO POR TSUNAMI	100
3.4.1. Metodología del modelado de peligro	101
3.4.1.1. ENFOQUE NUMÉRICO	101
3.4.1.2. DOMINIO DE CÁLCULO	101
3.4.1.3. BASE FÍSICA DEL MODELADO	101
3.4.2. Parámetros del peligro obtenidos y su distribución espacial	102
3.4.3. Análisis de los factores condicionantes y desencadenantes	104
3.4.3.1. Morfodinámica y comportamiento de oleaje:	104
3.4.3.2. Mecanismo Tsunamica-Sismogénico:	104
3.4.4. Análisis Integrado de los Parámetros Oceanográficos y Físicos para la evaluación del peligro por Tsunami.	104
3.4.4.1. Batimetría, Pendiente del Fondo Marina y Geomorfología Litoral	104
3.4.4.2. Hidrodinámica: Rotura del Oleaje, Corrientes Marinas y Sedimentología	105
3.4.4.3. Estructuras de Protección Costera y Dinámica Sedimentaria	105
3.4.4.4. Régimen de Oleaje Extremo y Bravezas de Mar	105
3.4.4.5. Marea Astronómica, Marea Meteorológica e Incremento del Nivel del Mar	106
3.5. PELIGRO POR MOVIMIENTOS EN MASA	107
3.5.1. Peligros por deslizamientos	108
3.5.2. Peligros por derrumbes, caída de rocas	109
3.5.3. Peligros por hundimiento y erosión marina	110
3.5.4. Análisis de síntesis de peligros por movimientos en masa	112
3.6. IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS ANTE PELIGRO POR SISMOS Y MOVIMIENTOS EN MASA	115
5.7.1. Zonas Críticas ante Movimientos Sísmicos y Fenómenos Asociados	115
5.7.2. Zonas Críticas ante Peligros por Movimientos en Masa y Dinámica Marina	115
5.7.4. Distribución Territorial de Zonas Críticas por Distrito	116
5.7.3. Análisis de Zonas Críticas	117

4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	119
4.1. ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN ACTUAL DEL SISTEMA VIAL MOTORIZADO	119
4.1.1. Estado del pavimento y de la señalización	121
4.1.2. Clasificación vial y capacidad	121
4.2. ESPACIOS PÚBLICOS	122
4.2.1. Parques y áreas verdes	122
4.2.2. Equipamiento de comercio, hospedaje y servicios esenciales	122
4.2.3. Análisis de Playas	122
4.3. ANÁLISIS DE VIVIENDAS Y POBLACIÓN EXPUESTAS	124
4.3.1. Estructura etaria	125
4.3.2. Tipología de vivienda	125
4.4. ESPIGONES	127
4.4.1. Caracterización de la infraestructura existente	127
4.4.2. Estado de conservación de los espigones existentes	128
4.5. ANÁLISIS DE SISTEMA DE ENROCADOS	130
4.6. ANÁLISIS DE RED DE CICLOVÍAS	134
4.7. ANÁLISIS DE PUENTES EXISTENTES	134
5. ANÁLISIS DE RIESGO:	138
5.1. RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA (DERRUMBES Y DESLIZAMIENTOS)	139
5.2. RIESGO POR TSUNAMI	141
5.3. RIESGO SÍSMICO	143
5.4. SÍNTESIS DEL RIESGO POR TIPO DE PELIGRO	145
6. CONCLUSIONES	147
7. RECOMENDACIONES	148
8. BIBLIOGRAFÍA	148

LISTA DE TABLAS

TABLA N° 1: DATOS DE METODOLOGÍA	11
TABLA N° 2: GRAN TERREMOTO Y TSUNAMI DE LIMA Y EL CALLAO	13
TABLA N° 3: GRAN TERREMOTO Y TSUNAMI DE LIMA Y EL CALLAO	13
TABLA N° 4: GRAN TERREMOTO Y TSUNAMI DE LIMA-CHILCA	14
TABLA N° 5: PELIGRO POR CAÍDA DE ROCAS	14
TABLA N° 6: PELIGRO POR CAÍDA DE ROCAS	15
TABLA N° 7: PELIGRO POR DESLIZAMIENTOS POR SISMOS	15
TABLA N° 8: GRAN TERREMOTO Y TSUNAMI DE LIMA Y EL CALLAO	16
TABLA N° 9: PELIGRO POR DERRUMBES	16
TABLA N° 10: PELIGRO POR DESPRENDIMIENTO DE ROCA	17
TABLA N° 11: DESLIZAMIENTO CON DESPRENDIMIENTO DE GEOMALLA	17
TABLA N° 12: ANIEGO POR ROTURA DE TUBERÍAS	18
TABLA N° 13: PELIGROS POR DESLIZAMIENTO EN LA COSTA VERDE	18
TABLA N° 14: DESLIZAMIENTOS ORIGINADO POR MOVIMIENTOS SÍSMICOS	19
TABLA N° 16: HUMEDAD RELATIVA %	23
TABLA N° 17: DATOS DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS (POROSIDAD, PERMEABILIDAD Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA)	28
TABLA N° 18: COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PENDIENTES DEL RELIEVE	33
TABLA N° 19: DATOS DE CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS PSHA POR DISTRITO	66
TABLA N° 33: DATOS DE ANÁLISIS DE PERFILES TOPOGRÁFICOS POR POLO ESTRUCTURANTE Y DISTRITO	69
TABLA N° 34: DATOS DE PENDIENTE	70
TABLA N° 35: CONDICIÓN DEL ACANTILADO LITORAL POR DISTRITO (DE NORTE A SUR)	71
TABLA N° 36: SÍNTESIS COMPARATIVA	72
TABLA N° 37: CLASIFICACIÓN DE SUELOS EN EL ACANTILADO DE LA COSTA VERDE	75
TABLA N° 38: COMPONENTES QUÍMICOS EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO	76
TABLA N° 39: PARÁMETROS GEOMECÁNICOS ESTIMATIVOS POR TIPO DE SUELO	76
TABLA N° 40: MECANISMOS DE FALLA IDENTIFICADOS POR DISTRITO	77
TABLA N° 42: ZONIFICACIÓN GENERAL DE PENDIENTES MARINAS SEGÚN SECCIONES BATIMÉTRICAS	78

TABLA N° 43: PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE DIRECCIÓN DE OLAJE EN AGUAS PROFUNDAS	78
TABLA N° 44: ALTURA DE OLA (Hs, EN METROS) PARA PERIODOS DE RETORNO EN AGUAS PROFUNDAS	79
TABLA N° 45: CARACTERÍSTICAS DEL OLAJE INCIDENTE MEDIDO EN COSTA (2016)	79
TABLA N° 46: RÉGIMEN EXTREMO DE ALTURA DE OLA (M) EN AGUAS SOMERAS, POR DISTRITO	79
TABLA N° 47: DISTRIBUCIÓN ANUAL DE CONDICIONES DEL ESTADO DEL MAR EN EL CALLAO	81
TABLA N° 48: NIVELES DE MAREA DE REFERENCIA — CALLAO (RESPECTO AL NIVEL MEDIO DEL MAR)	81
TABLA N° 49: PRINCIPALES CONSTITUYENTES ARMÓNICAS DE MAREA — CALLAO	81
TABLA N° 50: CORRIENTES MARINAS MEDIDAS POR SECTOR	82
TABLA N° 51: CLASIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL BORDE COSTERO POR SECTOR	83
TABLA N° 52: COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DEL FONDO MARINO SUPERFICIAL	84
TABLA N° 53: FACTORES FÍSICOS CONDICIONANTES DOCUMENTADOS POR SECTOR	87
TABLA N° 54: TERREMOTOS DESTRUCTIVOS OCURRIDOS EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO	92
TABLA N° 55: PARA ESTABILIZAR EL CÁLCULO SE IMPLEMENTÓ UN SISTEMA DE CINCO GRILLAS ANIDADAS (A, B, C, D Y E)	96
TABLA N° 57: EL CAMPO DE VELOCIDADES ESTIMADAS SE DIFERENCIÓ POR SUBREGIÓN (NORTE, CENTRO, SUR) DENTRO DE CADA DISTRITO	98
TABLA N° 59: DATOS DE ZONAS CRÍTICAS ANTE PELIGRO POR SISMOS Y MOVIMIENTOS EN MASA	113
TABLA N° 79: EVOLUCIÓN DE PLAYAS Y BORDE COSTERO	118
TABLA N° 61: RESUMEN DE POBLACIÓN Y VIVIENDAS EXPUESTAS POR DISTRITO	122
TABLA N° 70: DISTRIBUCIÓN DE ESPIGONES	124
TABLA N° 71: SECTORES SIN ESPIGONES EJECUTADOS	124
TABLA N° 72: ESPIGONES EN CHORRILLOS	125
TABLA N° 73: ESPIGONES EN BARRANCO	125
TABLA N° 74: ESPIGONES DE MIRAFLORES	126
TABLA N° 76: DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ENROCADOS EXISTENTES	127
TABLA N° 75: ESTRUCTURAS EXISTENTES	127

LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1: MAPA DE UBICACIÓN	20
FIGURA N° 2: VISTA DE LA UNIDAD DE ABANICO ALUVIAL	45
FIGURA N° 3: UNIDADES GEOLÓGICAS	48
FIGURA N° 4: MAPA DE PENDIENTES DEL TERRENO	73
FIGURA N° 5: ZONAS SÍSMICAS	93
FIGURA N° 6: ZONA DE SUBDUCCIÓN Y TIPOS DE SISMOS	94
FIGURA N° 7: MAPA DE ZONAS SÍSMICAS SEGÚN INFORMACIÓN DE CISMID	95
FIGURA N° 8: MAPA DE CAMPO DE VELOCIDADES ESTIMADAS -COSTA VERDE	98
FIGURA N° 9: MAPA DE PELIGRO POR TSUNAMI	102
FIGURA N° 10: ÁREAS DE PELIGRO POR HUNDIMIENTOS Y EROSIÓN MARINA	106
FIGURA N° 11: MAPA DE PELIGROS SÍNTESIS	108
FIGURA N° 12: MAPA SÍNTESIS DE PELIGROS POR MOVIMIENTOS EN MASA	109
FIGURA N° 13: MAPA DE ZONAS CRÍTICAS EN LA COSTA VERDE	114
FIGURA N° 20: EVOLUCIÓN DEL LITORAL DE LA COSTA VERDE.	119
FIGURA N° 20: MAPA DISTRIBUCIONES DEL SISTEMA DE ENROCADO EXISTENTE	128
FIGURA N° 14: MAPA DE VULNERABILIDAD POR EXPOSICIÓN ANTE PELIGRO 3 SEGÚN PELIGRO	133
FIGURA N° 15: MAPA DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS EN MASA	135
FIGURA N° 16: MAPA DE RIESGO POR TSUNAMI	137
FIGURA N° 17: MAPA DE RIESGO POR MOVIMIENTOS SÍMICOS	139
FIGURA N° 18: SÍNTESIS DE RIESGO POR EXPOSICIÓN A NIVEL DE LOTES	141

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA	12
GRÁFICO N° 2: TEMPERATURA MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA MENSUAL EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO	23
GRÁFICO N° 3: TEMPERATURAS REGISTRADAS EN LA ESTACIÓN LAS PALMAS	24
GRÁFICO N° 4: VELOCIDAD PROMEDIO DEL VIENTO POR HORA	25
GRÁFICO N° 5: PROBABILIDAD DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN LIMA	26
GRÁFICO N° 6: PLAYA LOS YUYOS	27

GRÁFICO N° 7: PLAYA LOSA YUYOS	28
GRÁFICO N° 8: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS EVALUADOS	28
GRÁFICO N° 9: MANANTIAL EN MALECÓN DE RESERVA	28
GRÁFICO N° 10: EXTRACCIÓN DE AGUA DE LOS POZOS DE SEDAPAL	29
GRÁFICO N° 11: POROSIDAD Y PERMEABILIDAD DE UNIDADES GEOLÓGICAS QUE FORMAN ACUÍFEROS.	29
GRÁFICO N° 12: ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN DISTRITO DE BARRANCO	30
GRÁFICO N° 13: ENSAYOS DE INFILTRACIÓN EN LA COSTA VERDE	30
GRÁFICO N° 14: MODELO REFERENCIAL DE LA BAJADA DE AMENDARIZ	31
GRÁFICO N° 15: LEYENDA HIDROGEOLÓGICA DEL ACANTILADO DE LA COSTA VERDE Y SUB CUENCA BAJO RÍMAC	32
GRÁFICO N° 16: MAPA HIDROGEOLÓGICO	32
GRÁFICO N° 17: CONDICIONES ACTUALES DEL ACANTILADO	34
GRÁFICO N° 18: ACANTILADOS CON DIFERENCIADOS RANGOS DE PENDIENTE	35
GRÁFICO N° 19: ÁREAS VERDES EN LA PLANICIE SUPERIOR	37
GRÁFICO N° 20: DESLIZAMIENTOS EN EL BORDE DEL ACANTILADO	37
GRÁFICO N° 21: TERRAZA ANTROPOGÉNICA BAJA	38
GRÁFICO N° 22: ARROJO DE DESMONTE EN LAS PLAYAS DE LA COSTA VERDE	38
GRÁFICO N° 23: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE GEOMORFOLOGÍA (9)	39
GRÁFICO N° 24: UBICACIÓN DE ESPIGONES	40
GRÁFICO N° 25: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE GEOMORFOLOGÍA (12)	41
GRÁFICO N° 26: PRESENCIA DE SURCOS Y CÁRCAVAS EN EL ACANTILADO.	41
GRÁFICO N° 27: PLAYAS A LO LARGO DE LA COSTA VERDE	42
GRÁFICO N° 28: UBICACIÓN DE DEPÓSITOS COLUVIALES	44
GRÁFICO N° 29: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE GEOMORFOLOGÍA (17)	44
GRÁFICO N° 30: GEOFORMAS IDENTIFICADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	45
GRÁFICO N° 31: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS SOBRE EL ACANTILADO	47
GRÁFICO N° 32: BASAMENTO ROCOSO	48
GRÁFICO N° 33: PRINCIPALES UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DEL PERÚ	51
GRÁFICO N° 34: PROCESO DE SUBDUCCIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO	52
GRÁFICO N° 35: FUENTES SISMOGÉNICAS INFLUYENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	52
GRÁFICO N° 36: SISMICIDAD HISTÓRICA E INTEGRIDAD DEL CATÁLOGO SÍSMICO	53
GRÁFICO N° 37: SISMOS SIGNIFICATIVO EN EL ÁMBITO DE ESTUDIO	55
GRÁFICO N° 38: MÁXIMAS INTENSIDADES SÍSMICAS OBSERVADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	56
GRÁFICO N° 39: SISMICIDAD HISTÓRICA E INTEGRIDAD DEL CATÁLOGO SÍSMICO	56
GRÁFICO N° 40: SAN MIGUEL (PUNTO DE CONTROL P1)	58
GRÁFICO N° 41: MAGDALENA DEL MAR (PUNTO DE CONTROL P2)	59
GRÁFICO N° 42: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE SAN ISIDRO (PUNTO DE CONTROL P3)	60
GRÁFICO N° 43: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE MIRAFLORES (PUNTO DE CONTROL P4)	62
GRÁFICO N° 44: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE BARRANCO (PUNTO DE CONTROL P5)	64
GRÁFICO N° 45: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE CHORRILLOS (PUNTO DE CONTROL P6)	66
GRÁFICO N° 46: MAPA DE ISOACELERACIONES PARA UN $T_r=475$ AÑOS, $T=0.00s$, SUELO TIPO B.	68
GRÁFICO N° 47: MAPA DE ISOACELERACIONES PARA UN $T_r=2475$ AÑOS, $T=0.00s$, SUELO TIPO B.	68
GRÁFICO N° 48: SECTORIZACIÓN DE ZONAS SEGÚN OLEAJE	81
GRÁFICO N° 49: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE SEDIMENTACIÓN DEL FONDO MARINO Y DE PLAYAS	85
GRÁFICO N° 50: PROCESO DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN	86
GRÁFICO N° 51: TASA DE VARIACIÓN DEL PERFIL COSTERO	87
GRÁFICO N° 53: ZONAS DE RELLENOS ANTRÓPICOS	89
GRÁFICO N° 54: VISTA DE LAS PRINCIPALES GEOFORMAS EN LA COSTA VERDE	90
GRÁFICO N° 55: PENDIENTES MUY ESCARPADAS	91
GRÁFICO N° 56: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES SÍSMICAS	93
GRÁFICO N° 58: ELEMENTO GRÁFICO COMPLEMENTARIO DE LA SECCIÓN	103
GRÁFICO N° 59: DESLIZAMIENTO DE MATERIAL DEL ACANTILADO DE LA COSTA VERDE	105
GRÁFICO N° 60: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE PELIGROS POR DERRUMBES, CAÍDA DE ROCAS	107
GRÁFICO N° 63: MATRIZ CONSOLIDADA DE ZONAS CRÍTICAS POR TIPO DE PELIGRO Y ÁREAS AFINES	112
GRÁFICO N° 64: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE ZONAS CRÍTICAS ANTE PELIGRO POR SISMOS Y MOVIMIENTOS EN MASA	112
GRÁFICO N° 65: ELEMENTO GRÁFICO REFERENCIAL DE ZONAS CRÍTICAS ANTE PELIGRO POR SISMOS Y MOVIMIENTOS EN MASA	113
GRÁFICO N° 67: EXPOSICIÓN DE VÍAS Y EDIFICIOS EN LA COSTA VERDE	116
GRÁFICO N° 69: LONGITUD DE VÍAS EXPUESTAS SEGÚN CARRILES	118
GRÁFICO N° 70: POBLACIÓN EXPUESTA POR DISTRITO	121
GRÁFICO N° 71: ESTRUCTURA ETARIA DE LA POBLACIÓN EXPUESTA	122

1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

El Plan Maestro de la Costa Verde 2026 – 2040, constituye un instrumento rector de vital importancia para la planificación, ordenamiento y gestión territorial de uno de los espacios urbanos y paisajísticos más emblemáticos y complejos de la metrópoli de Lima. Su relevancia fundamental radica en transformar la costa verde de un espacio recreativo a un motor económico de calibre Internacional, planteando inversiones estratégicas que generen modelos de negocios atractivos para el capital mundial, sin perder el equilibrio entre el uso público y el desarrollo territorial sostenible, orientando de manera prioritaria a la protección de la vida y la seguridad de sus usuarios, y a la conservación del ecosistema litoral. En este contexto, la Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) asume un rol protagónico y transversal dentro del Plan Maestro.

El ámbito territorial de intervención abarca el corredor ribereño de la Costa Verde, ubicado en la Bahía de Miraflores, extendiéndose longitudinalmente e involucrando la jurisdicción de seis distritos contiguos: Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel. Para efectos de su diagnóstico, planificación y gestión integral, el territorio se estructura en dos sistemas interdependientes: el Plan Tierra, conformado por la plataforma superior o planicie urbana, el sistema de laderas y acantilados y la terraza baja o plataforma inferior, donde se emplazan la infraestructura urbana, el corredor vial, los malecones y las principales áreas recreativas; el Plan Vía, que articula la conectividad y accesibilidad del corredor; y el Plan Mar, integrado por la franja litoral, las playas de arena y canto rodado, los terrenos ganados al mar, las obras de protección costera, la zona de rompientes y su área de influencia hidro-oceanográfica inmediata, zona donde se desarrollan las dinámicas costeras los cuales suman condiciones de criticidad. La interacción permanente entre ambos sistemas determina la dinámica física, ambiental y funcional de la Costa Verde.

Frente al alto grado de exposición de esta franja costera, la Costa Verde se configura como un territorio altamente dinámico y complejo, donde convergen procesos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos, hidro-oceanográficos y antrópicos que condicionan su evolución y estabilidad. En este ámbito se identifican peligros asociados a movimientos en masa, como caídas de rocas, deslizamientos, derrumbes, deslizamientos rotacionales, erosión en cárcavas y surcos, y hundimientos; así como peligros vinculados a la dinámica litoral, entre ellos la erosión marina, la socavación y los efectos de sismos de gran magnitud y tsunamis. La interacción de estos procesos configura escenarios de riesgo que comprometen la seguridad de la población, la infraestructura estratégica, los servicios esenciales, las actividades económicas y los ecosistemas marino-costeros, haciendo indispensable incorporar la Gestión Integral del Riesgo de Desastres como un eje transversal para orientar la planificación, el ordenamiento y el desarrollo sostenible de la Costa Verde.

En este contexto, la incorporación de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres resulta indispensable, al constituirse en el eje articulador para fortalecer la resiliencia territorial del corredor ribereño de la Costa Verde. En ese sentido, orienta sus acciones hacia la reducción de las condiciones de riesgo mediante la implementación de medidas estructurales y no estructurales, la incorporación de criterios de adaptación al cambio climático y el desarrollo de intervenciones compatibles con las condiciones físicas y ambientales del territorio. Asimismo, el componente de Gestión del Riesgo de Desastres tiene por finalidad identificar, caracterizar y evaluar de manera continua las condiciones geológicas, geotécnicas, geofísicas e hidro-oceanográficas que condicionan el territorio, proporcionando el sustento técnico para la planificación, la actualización de la zonificación conforme a niveles de riesgo aceptables y la priorización de inversiones orientadas a la estabilización de acantilados, la protección costera, la implementación de sistemas de alerta temprana y rutas de evacuación, contribuyendo a la protección de la vida, la seguridad de los usuarios y el desarrollo territorial sostenible y resiliente de la Costa Verde.

La función primordial de este componente es establecer los criterios físicos, ambientales, funcionales y normativos que orienten la ocupación segura y el desarrollo sostenible del Plan Tierra y el Plan Mar, complementando la planificación y proporcionando los criterios técnicos para la gestión del territorio y la ejecución de intervenciones. Para ello, el instrumento adopta un enfoque integral, preventivo y sostenible, incorporando de manera transversal la gestión prospectiva, correctiva y reactiva en la planificación, el ordenamiento y la gestión territorial, sustentada en la identificación, evaluación y monitoreo permanente de los peligros y las condiciones de vulnerabilidad. Asimismo, orienta el desarrollo de polos estructurantes y de intervenciones estratégicas que fortalezcan la integración de la Costa Verde con la ciudad, mediante la formulación de políticas, lineamientos, estrategias y medidas que reduzcan las condiciones de riesgo existentes, prevengan la generación de nuevos escenarios de riesgo y fortalezcan la resiliencia territorial, garantizando la protección de la vida, la infraestructura estratégica, los servicios esenciales y los ecosistemas marino-costeros.

Finalmente, a partir del análisis integrado de información oficial y los trabajos de campo realizados, el presente informe se articula en una serie de apartados técnicos destinados a guiar las decisiones territoriales del Plan Maestro. Inicialmente, se expone la caracterización y zonificación de los peligros prioritarios del litoral: los movimientos en masa, centrados en la caída de rocas, y el escenario de sismo seguido de tsunami. A continuación, se presenta la evaluación de la vulnerabilidad por exposición de la infraestructura y activos territoriales emplazados en la franja costera. En la siguiente sección, se efectúa la determinación de los escenarios de riesgo y la identificación de las zonas críticas a lo largo de los distritos que integran el corredor de la Costa Verde (San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos). Posteriormente, el documento desarrolla la propuesta de intervenciones, detallando tanto las medidas estructurales de mitigación en taludes (desquinche, geomallas y disipadores de energía) y en el frente marítimo (rompeolas y regeneración de playas), como las medidas no estructurales orientadas al ordenamiento del suelo. El informe concluye con la formulación de los lineamientos estratégicos, políticas y la matriz de acciones del componente de riesgos al 2040.

1.2. Marco Normativo

- Política de Estado N° 32 – Promueve la Gestión del Riesgo de Desastres
- Ley 29664 Ley del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, 2011.
- Ley N° 29664 que crea el SINAGERD
- Ley N° 29869; Ley del Reasentamiento Poblacional para zonas de Muy Alto Riesgo
- Ley N° 30779; Ley que dispone medidas para Fortalecimiento del SINAGERD.
- D.S. N° 048-2011-PCM; Reglamento de la Ley 29664
- Resolución Ministerial 088-2012-PCM, “Lineamientos Técnicos Generales para Implementación del Proceso de Estimación del Riesgo de Desastres”.
- Ley N° 31313 - Ley de Desarrollo Urbano Sostenible (DUS):
- Ley N° 26856 - Ley que declara que las playas del litoral son bienes de uso público, inalienables e imprescriptibles.
- Decreto Legislativo N° 1147 - Que regula el fortalecimiento de las Fuerzas Armadas en las competencias de la Autoridad Marítima Nacional
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) - Normas Técnicas E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.050 (Suelos y Cimentaciones):
- Normas de la Autoridad Marítima (DICAPI) sobre la Línea de Alta Marea (LAM):
- Ley N° 29664 - Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD):

- Decreto Supremo N° 048-2011-PCM - Reglamento de la Ley del SINAGERD:
- Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (PPRRD) de la Costa Verde 2020-2023.
- Resoluciones Ministeriales (PCM):
- Normas Técnicas del CENEPRED:
- Marco de Competencias de la Autoridad del Proyecto Costa Verde (APCV).

1.3. Objetivo General

Formular el componente de Gestión Integral del Riesgo de Desastres del Plan Maestro de la Costa Verde 2026–2040, mediante el análisis de los peligros, las vulnerabilidades por exposición y los escenarios de riesgo, con el propósito de orientar la planificación territorial, la priorización de inversiones y la implementación de medidas que fortalezcan la resiliencia, protejan la vida, la infraestructura estratégica y los ecosistemas, y promuevan un desarrollo territorial seguro y sostenible.

1.4. Objetivos Específicos

- Analizar e identificar los peligros naturales y antrópicos que afectan el ámbito de intervención de la Costa Verde.
- Identificar, caracterizar y evaluar los elementos expuestos, determinando su nivel de vulnerabilidad frente a los diferentes peligros que afectan el ámbito de la Costa Verde.
- Determinar los niveles de riesgo mediante la integración del análisis de peligros y vulnerabilidades.
- Identificar y delimitar las zonas críticas que requieren intervenciones prioritarias para la reducción del riesgo.
- Proponer medidas estructurales y no estructurales de mitigación orientadas a reducir los niveles de riesgo y fortalecer la resiliencia del corredor costero.
- Orientar la priorización de inversiones públicas y privadas hacia intervenciones que incrementen la resiliencia del corredor costero y reduzcan las condiciones de riesgo.
- Promover la articulación de la Gestión del Riesgo de Desastres con la planificación urbana, la gestión ambiental y las estrategias de adaptación al cambio climático, favoreciendo un desarrollo territorial sostenible.

1.5. Metodología

La formulación del componente de Gestión Integral del Riesgo de Desastres del Plan Maestro de la Costa Verde 2026–2040 se desarrolló bajo un enfoque integral, sistémico y multidisciplinario, orientado a incorporar la Gestión Integral del Riesgo de Desastres como un componente transversal de la planificación, el ordenamiento y la gestión territorial. La metodología, adaptada a partir de los lineamientos establecidos por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) para la evaluación del riesgo, incorpora criterios técnicos que permiten la identificación, caracterización y evaluación de los escenarios de riesgo, mediante el análisis integrado de sus componentes: peligro, vulnerabilidad y niveles de riesgo. Este enfoque proporciona una base técnica sólida para la formulación de estrategias, lineamientos e intervenciones orientadas a la reducción del riesgo y al fortalecimiento de la resiliencia territorial.

Como etapa inicial, se realizó la recopilación, revisión, sistematización e integración de información técnico-científica proveniente de estudios especializados desarrollados por instituciones competentes,

entre ellas el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el CENEPRED, los Planes Maestros de la Costa Verde y demás estudios geológicos, geotécnicos, hidro-oceanográficos y ambientales disponibles para el ámbito de intervención.

Posteriormente, se desarrolló el análisis del peligro mediante la identificación y caracterización de los procesos naturales que condicionan la estabilidad y funcionalidad del territorio. Para ello se evaluaron los peligros asociados a la geodinámica externa, principalmente los movimientos en masa, incluyendo caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos, deslizamientos rotacionales, erosión en cárcavas, surcos y hundimientos; los peligros de geodinámica interna, representados por la amenaza sísmica; y los peligros marino-costeros e hidro-oceanográficos, tales como tsunamis, erosión marina, socavación, transporte de sedimentos y otros procesos que regulan la dinámica litoral. La caracterización de estos peligros se sustentó en el análisis de factores condicionantes, como la geología, geomorfología, pendiente, características del litoral y condiciones oceanográficas, así como de factores desencadenantes, entre ellos la actividad sísmica, las precipitaciones, el oleaje y los efectos asociados al cambio climático, permitiendo elaborar la cartografía temática de peligros que constituye la base del análisis posterior.

En una segunda etapa, se desarrolló el análisis de la vulnerabilidad, centrado principalmente en la identificación y evaluación de los elementos expuestos dentro de las zonas de peligro previamente delimitadas. Se identificaron viviendas, edificaciones comerciales, restaurantes, clubes, infraestructura vial, espacios públicos, áreas recreativas, infraestructura estratégica, servicios esenciales y demás activos territoriales, determinando sus niveles de exposición y su potencial afectación frente a los diferentes peligros identificados.

Posteriormente, se efectuó la integración del análisis de peligros y de la vulnerabilidad por exposición para determinar los escenarios de riesgo existentes en la Costa Verde. Esta etapa permitió establecer los niveles de riesgo, identificar sectores críticos y priorizar las áreas que requieren intervenciones para la reducción del riesgo, constituyendo el principal insumo para la toma de decisiones en materia de planificación territorial, ordenamiento del suelo y gestión de inversiones.

Finalmente, los resultados obtenidos sirvieron de base para la formulación de la propuesta del componente de Gestión Integral del Riesgo de Desastres del Plan Maestro, desarrollándose la visión, los objetivos, las políticas, los lineamientos, las acciones estratégicas, los indicadores de seguimiento y las medidas estructurales y no estructurales orientadas a reducir las condiciones de riesgo existentes, prevenir la generación de nuevos escenarios de riesgo, fortalecer la resiliencia territorial y promover un desarrollo seguro, sostenible y compatible con la dinámica del sistema terrestre y marino-costero de la Costa Verde.

COMPONENTE DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE DESASTRES (GIRD)
PLAN MAESTRO DE LA COSTA VERDE 2026 – 2040

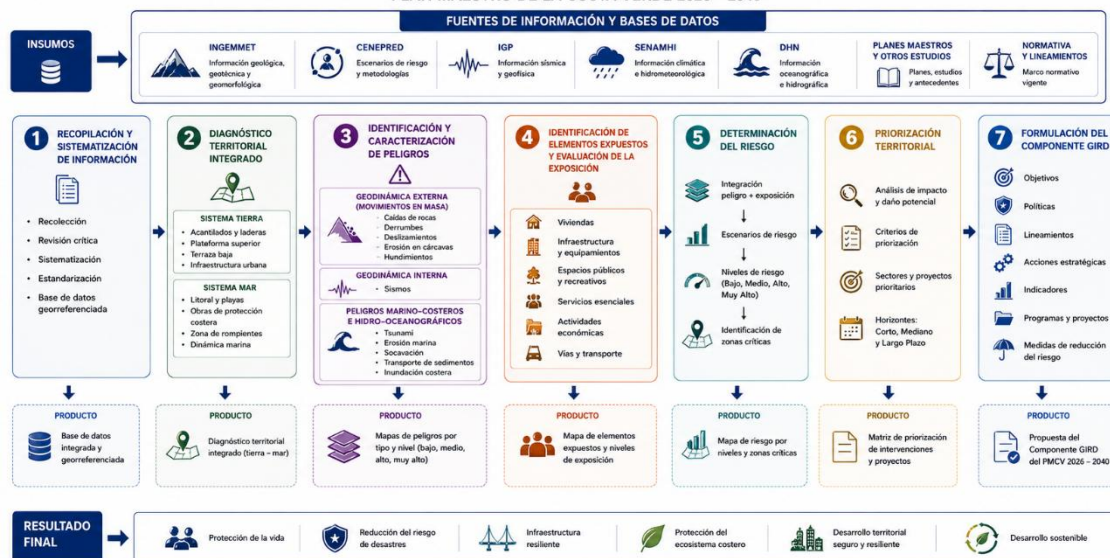
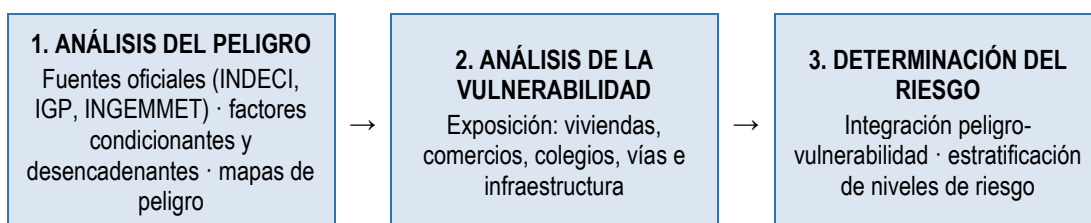


Tabla N° 1: Datos de Metodología



Fuente: Elaboración propia, con base en los lineamientos de la Dirección de Gestión de Procesos – Sub Dirección de Normas y Lineamientos, CENEPRED.

1.6. Antecedentes de Estudios Técnicos

Para el desarrollo del capítulo de Antecedentes del componente de Gestión del Riesgo de Desastres (GRD) del Plan Maestro de la Costa Verde (PMDCV) 2026-2036, se presenta un resumen de los estudios técnico-científicos revisados, los cuales constituyen la base del conocimiento del riesgo en el corredor ribereño.

Este resumen se estructura según la especialidad y el aporte crítico de cada estudio al instrumento de planificación:

1.6.1. Estudios sobre Peligros Geológicos y Estabilidad de Taludes

- **INGEMMET (1997, 2015, 2019):** Estas investigaciones han sentado la línea de base geológica, identificando procesos de movimientos en masa como caídas de rocas, derrumbes y deslizamientos. El estudio de 2015 calificó a la mayor parte de los acantilados y la vía rápida como zonas de peligro geológico Muy Alto.
- **IGP (2021) - Evaluación Geofísica de los Acantilados:** El Instituto Geofísico del Perú realizó estudios detallados en los seis distritos (San Miguel, Magdalena, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos), utilizando seis metodologías (sísmica, eléctrica, gravimetría, razones espectrales y geo-radar) para determinar la estructura del subsuelo y su comportamiento dinámico ante sismos.
- **CISMID/UNI:** Ha desarrollado estudios geotécnicos y de microzonificación sísmica que analizan la estabilidad de los taludes bajo cargas estáticas y dinámicas, considerando la interacción con las edificaciones ubicadas en el borde superior.

- **Tesis de Especialidad (Moreno Rondoy, 2021):** Introdujo el enfoque probabilístico para el análisis de riesgo por deslizamientos, evaluando el "factor de seguridad" y la "probabilidad de falla" mediante el método de Monte Carlo en 23 secciones del litoral.
- **INDECI (2020)-Reporte de Peligro Inminente por Derrumbe en Acantilados:** Evaluación y acciones para reducir el riesgo por movimientos en masa en La Costa Verde.

1.6.2. Estudios Hidro-oceanográficos y Dinámica Litoral

- **Dirección de Hidrografía y Navegación - DHN (2010, 2016):** Estos informes caracterizaron el patrón de oleaje incidente, el transporte de sedimentos y la evolución del perfil costero. Se identificó que mientras la zona sur tiende al equilibrio, los distritos de Magdalena y San Miguel presentan procesos de erosión crítica.
- **Royal HaskoningDHV (2017-2018):** Estudio contratado por la APCV para el diseño de infraestructuras de protección costera (espigones, rompeolas) y la generación de nuevas áreas de playa, cuyas propuestas técnicas han sido integradas en la zonificación del Plan Maestro.
- **Escenarios de Tsunami (DHN/CNAT):** Se revisaron los modelamientos de inundación que proyectan eventos sísmicos de hasta **8.8.0 Mw**, estimando alturas de ola de hasta 25.5 m en sectores como Miraflores y tiempos de arribo de la primera ola entre 15 y 30 minutos.

1.6.3. Estudios Estratégicos y de Planificación en GRD

- **Programa Ciudades Sostenibles (INDECI/PNUD, 2014):** Elaboró los primeros mapas integrados de peligros, vulnerabilidad y riesgos de la Costa Verde, sirviendo como antecedente para el plan de usos del suelo ante desastres.
- **PPRRD Costa Verde 2020-2023 (APCV):** Es el antecedente operativo más directo, el cual sistematizó la identificación de **31 sectores críticos** y definió los primeros lineamientos de gestión prospectiva, correctiva y reactiva para el corredor.
- **Evaluaciones de Riesgo (EVAR) Específicas:** Se analizaron informes técnicos (como los de Mandrágora Consultores para Gremco) que evalúan riesgos sísmicos y de tsunami en proyectos específicos como el Morro Solar, aplicando parámetros de fragilidad y resiliencia actualizados
-

1.7. Eventos Históricos en la Costa Verde

La cronología siguiente documenta los principales eventos históricos de peligro que han afectado el sistema de acantilado y litoral de la Costa Verde. Los eventos han sido ordenados cronológicamente y cada uno cuenta con una ficha técnica que detalla los factores condicionantes y desencadenantes, el impacto registrado a través de diferentes fuentes oficiales como INDECI, IGP, INGEMMET, CISMID y hemerotecas digitales de la prensa peruana.

Tabla N° 2: Gran Terremoto y Tsunami de Lima y El Callao

EVENTO N° 01: Gran Terremoto y Tsunami de Lima y El Callao	
Fecha / Período:	28/10/1746 — 22:30 horas (hora local)
Tipología del Peligro:	Sismo (Ms estimada 8.5–8.8 Mw) + Tsunami (run-up máximo estimado de 24 metros en el litoral del Callao y bahía de Miraflores)

Descripción Técnico-Científica:	El evento sísmico provocado por la ruptura de la placa de Nazca bajo la Sudamericana desató una fuerte vibración que superó la estabilidad del suelo en la costa central peruana, ocasionando derrumbes a gran escala en los acantilados de Miraflores y Chorrillos que alteraron la morfología del litoral de forma irreversible, sumado a un tsunami cuya altura máxima de inundación en la Costa Verde alcanzó los 23.80 metros.
Impacto y Vulnerabilidad:	En Lima se registraron 1,300 víctimas fatales; en El Callao, el tsunami causó la muerte de más de 3,800 personas, con solo 200 sobrevivientes. El impacto sobre el litoral destruyó las estructuras costeras de la época y generó inundaciones hasta Chorrillos. Los acantilados de Miraflores y Chorrillos experimentaron derrumbes masivos documentados por relatos históricos, con generación de nubes de polvo visibles desde largas distancias. Este evento constituye el escenario de peligro máximo de referencia para el análisis prospectivo de la Costa Verde.

Fuente: CISMID

Tabla N° 3: Gran Terremoto y Tsunami de Lima y El Callao

EVENTO N° 02: Terremoto de Lima y El Callao — Magnitud 8.2 Mw	
Fecha / Período:	24/05/1940 — 11:35 horas (hora local)
Tipología del Peligro:	Sismo (Magnitud 8.0–8.2 Mw) con epicentro en la costa central del Perú
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: acumulación de esfuerzos en la zona de subducción de la placa de Nazca frente a la costa central del Perú. El sismo tuvo como consecuencia inmediata la generación de nubes de polvo de gran magnitud en los acantilados del litoral limeño. Esto constituye evidencia indirecta de colapsos y desprendimientos masivos de material en la cara del acantilado, coherente con la intensidad sísmica registrada (VIII-IX MM) en los distritos costeros. Los depósitos aluviales no consolidados del pie del acantilado habrían experimentado procesos incipientes de licuación y asentamiento diferencial.
Impacto y Vulnerabilidad:	El sismo dejó 179 muertos, 3,500 heridos y graves daños materiales en Lima, El Callao, Huacho, Chorrillos y Ancón. Los distritos costeros donde se ubica la Costa Verde actual registraron intensidades de VIII en la escala Mercalli Modificada. Las construcciones de adobe y quinchá en Chorrillos y Barranco sufrieron daños significativos. El evento puso de manifiesto la alta vulnerabilidad sísmica de los suelos aluviales del litoral limeño.

Fuente: IGP (2021)

Tabla N° 4: Gran Terremoto y Tsunami de Lima-Chilca

EVENTO N° 03: Terremoto de Lima-Chilca — Magnitud 7.7–8.1 Mw	
Fecha / Período:	03/10/1974 — 19:01 horas (hora local)
Tipología del Peligro:	Sismo (Magnitud 7.7–8.1 Mw) con epicentro a 60 km al noroeste del balneario de Cerro Azul, Cañete

Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: heterogeneidad de los materiales superficiales del litoral limeño, con alta amplificación sísmica en depósitos aluviales y materiales de relleno. El sismo duró cerca de dos minutos. El área del acantilado de la Costa Verde registró intensidades de VII-VIII MM (Mercalli Modificada).
Impacto y Vulnerabilidad:	Se produjeron 78 muertos y 2,550 heridos en Lima; entre Mala y Pisco: 13 muertos y numerosos heridos. Los distritos costeros de Barranco, Miraflores, San Isidro y Magdalena, registraron daños menores en edificaciones. El evento evidenció que un sismo de mayor magnitud, considerando el silencio sísmico acumulado desde 1746, podría generar el colapso masivo de los taludes.

Fuente: IGP (2021).

Tabla N° 5: Peligro por caída de rocas

EVENTO N° 04: Caída de Roca con Víctima Fatal — Acantilado frente a Playa Barranco	
Fecha / Período:	1995
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: caída de roca desde la cara del acantilado
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: pendiente escarpada del acantilado, materiales aluviales no consolidados con bolsones de roca suelta. Factor desencadenante: procesos de erosión diferencial eólica e hídrica acumulada, sin intervención de riego excesivo documentado en este caso. El evento ocurrió sobre la vía del Circuito de Playas, entonces de menor sección transversal que la actual.
Impacto y Vulnerabilidad:	El periodista francés Frédéric Chappaz falleció al ser impactado por una roca desprendida del acantilado sobre su vehículo, mientras circulaba por el Circuito de Playas de la Costa Verde. Este evento constituyó el primer registro oficial de víctima fatal directamente atribuible a la caída de rocas en el acantilado y generó la primera discusión pública sobre la necesidad de medidas de mitigación. La Autoridad Autónoma del Proyecto Costa Verde (APCV) fue creada un año antes (1994). El Plan Maestro de Desarrollo de la Costa Verde 1995-2010 fue aprobado ese mismo año.

Fuente: El Comercio 2019

Tabla N° 6: Peligro por caída de rocas

EVENTO N° 05: Caída de Rocas con Heridos — Playa Cascadas, Barranco	
Fecha / Período:	17/02/2014
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: caída de rocas (rockfall) desde el acantilado, sector Barranco
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: inestabilidad estructural del talud en la zona de la playa Cascadas, con bolsones de roca suelta en la cara del acantilado. Factor desencadenante: acción acumulada de erosión hídrica superficial e impacto de oleaje en el pie del talud. No se registró sismo previo inmediato. La vía no contaba con instalación de geomallas en el sector afectado.
Impacto y Vulnerabilidad:	Cuatro personas resultaron heridas: Silvia Espinoza (29 años), Russ Rivera Pio (38), Mercedes de la Cruz (34) y José Lozada (36), quienes viajaban en un auto colectivo por la playa Cascadas. Los cuatro heridos fueron trasladados al Hospital Casimiro Ulloa. Este evento, junto al que afectó a un menor de tres años el 20/01/2014 en la playa Waikiki (Miraflores, estado de coma), generó pronunciamientos formales de INDECI sobre la necesidad de estabilización del talud mediante geomallas.

Fuente: El Comercio 2019

Tabla N° 7: Peligro por deslizamientos por sismos

EVENTO N° 06: Deslizamiento por Sismo Mw 5.5 — Playa La Herradura, Chorrillos	
Fecha / Período:	17/05/2018
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa (deslizamiento) desencadenado por sismo de Magnitud 5.5, con epicentro a 30 km al suroeste de Mala, Cañete
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: acantilado de composición aluvial con pendiente escarpada en el sector de Chorrillos-La Herradura, sin cobertura de geomallas en la zona afectada. Factor desencadenante: sismo de Magnitud 5.5 registrado por el IGP a las 06:00 horas, que indujo aceleración sísmica suficiente para superar el umbral de estabilidad de los materiales en la cara del acantilado. Este evento demostró que sismos de magnitud moderada (5.0–5.5) son capaces de desencadenar movimientos en masa en el sistema de acantilados de la Costa Verde, cuyo factor de seguridad estático ya se encontraba reducido por procesos erosivos acumulados.
Impacto y Vulnerabilidad:	El deslizamiento de rocas afectó la vía del Circuito de Playas a la altura de la playa La Herradura. No se registraron víctimas fatales ni heridos, dado el horario temprano del evento. El incidente reforzó la evidencia de que la totalidad del frente del acantilado presenta susceptibilidad a movimientos en masa ante eventos sísmicos de magnitud moderada, sin requerir un sismo de gran magnitud como factor desencadenante.

Fuente: El Comercio (2019)

Tabla N° 8: Gran Terremoto y Tsunami de Lima y El Callao

EVENTO N° 07: Derrumbe Mayor en Acantilado de Magdalena del Mar — Durante Juegos Panamericanos Lima 2019	
Fecha / Período:	08/08/2019 — 01:00 horas aproximadamente
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: derrumbe y flujo de material de relleno (debris flow de material antrópico), acantilado de Magdalena del Mar, sector malecón Castagnola / bajada Avenida Sucre
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: la zona corresponde a una quebrada natural que fue rellenada con material de desmonte en la década de 1960, conformando un depósito de suelos finos, fragmentos de concreto y materia orgánica de muy baja resistencia al corte. La ampliación de la vía expresa Costa Verde (EMAPE) eliminó la zona de amortiguamiento histórica, desplazando el trazo vial directamente bajo la zona de caída del material. Factor desencadenante: saturación del suelo por sistema de riego por inundación de las áreas verdes del malecón en la cresta del acantilado, lo que redujo drásticamente los parámetros de cohesión y fricción del material de relleno. El Acuerdo de Concejo N° 086-2019-MDMM de la Municipalidad Distrital de Magdalena del Mar confirmó que se verificaron agrietamientos en la parte superior del relleno que incrementaron su ancho en los días posteriores al evento, evidenciando inestabilidad progresiva.
Impacto y Vulnerabilidad:	El derrumbe afectó tres carriles de la vía del Circuito de Playas y obligó a la modificación de la ruta de competencias de ciclismo de los Juegos Panamericanos Lima 2019. Las geomallas y el sistema de rejas fueron destruidas por la fuerza del desprendimiento. No se registraron víctimas fatales. El Concejo Distrital de Magdalena del Mar solicitó formalmente al INDECI y a la Municipalidad de Lima la declaratoria de estado de emergencia del acantilado. El Ejecutivo emitió el Decreto Supremo N° 161-2019-PCM el 19/09/2019, declarando emergencia por 60 días en

	acantilados de los seis distritos costeros. Población en riesgo estimada: 2,617 personas en 938 viviendas.
--	--

Fuente: INDECI 2019

Tabla N° 9: Peligro por derrumbes

EVENTO N° 08: Derrumbe en Acantilado de Barranco — Playa Los Yuyos	
Fecha / Período:	18/12/2019 — 10:30 horas aproximadamente
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: derrumbe y caída de rocas, acantilado sector Barranco-Chorrillos (playa Los Yuyos / playa Agua Dulce)
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: inestabilidad estructural persistente del talud en el límite Barranco-Chorrillos, con bolsones de roca y material suelto no contenidos por geomallas en adecuado estado. Factor desencadenante: posible exceso de riego en áreas verdes de la parte alta del acantilado como causa probable. El volumen de material desprendido fue estimado en aproximadamente 20 metros cúbicos. Las geomallas instaladas no contuvieron el material, evidenciando sus limitaciones como medida de mitigación definitiva.
Impacto y Vulnerabilidad:	Aproximadamente 20 metros cúbicos de material (incluyendo rocas de hasta dos metros de diámetro) cayeron sobre tres carriles de la vía del Circuito de Playas, en el sentido sur-norte (Chorrillos hacia el Callao). Un poste de alumbrado público fue derribado. Se identificaron 124 puntos críticos adicionales sin geomallas o con geomallas deterioradas a lo largo del acantilado.

Fuente: El Comercio (2019)

Tabla N° 10: Peligro por desprendimiento de roca

EVENTO N° 10: Desprendimiento de Rocas — Bajada Grau, Playa Agua Dulce, Chorrillos	
Fecha / Período:	03/05/2021
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: caída de rocas (rockfall) desde el acantilado, sector Chorrillos, bajada Grau
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: sector sin geomallas instaladas, con material aluvial no consolidado y bolsones de roca suelta en la cara del acantilado. Factor desencadenante: procesos de erosión diferencial hídrica y eólica acumulada. No se registra sismo previo en el IGP para la fecha exacta. El evento es coherente con el patrón de desprendimientos espontáneos documentados en el periodo 2019-2022, atribuibles al deterioro progresivo de la estabilidad del talud.
Impacto y Vulnerabilidad:	El carril sur-norte de la vía Costa Verde fue cerrado desde las primeras horas del 4 de mayo para facilitar los trabajos del municipio de Lima.

Fuente: RPP Noticias (2021)

Tabla N° 11: Deslizamiento con desprendimiento de geomalla

EVENTO N° 11: Deslizamiento con Desprendimiento de Geomalla — Barranco (Playa Los Yuyos)	
Fecha / Período:	17/09/2021
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa: deslizamiento de rocas y tierra por falla de geomalla, sector Barranco (Playa Los Yuyos)
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: inestabilidad estructural del talud en el sector de la plaza Los Yuyos, con material de relleno antrópico de baja resistencia. Factor desencadenante: posible exceso de regadío en la parte alta del acantilado, mecanismo recurrente en los eventos de 2019.
Impacto y Vulnerabilidad:	Circuito de Playas entre la bajada Armendáriz y la playa Los Pescadores. No se registraron accidentes ni heridos. La vía fue reabierto tras labores de remoción.

Fuente: RPP Noticias (2021)

Tabla N° 12: Aniego por rotura de tuberías

EVENTO N° 14: Aniego por Rotura de Tubería — Bajada Huaylas, Playa Agua Dulce, Chorrillos	
Fecha / Período:	07/02/2024
Tipología del Peligro:	Fenómeno hidrológico-geotécnico: saturación de talud por rotura de tubería de agua potable (SEDAPAL) en la cresta del acantilado
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: red de agua potable instalada en la cresta del acantilado, sobre sustratos aluviales no consolidados. Factor desencadenante: rotura de tubería que generó la inundación de la plataforma superior del acantilado y la infiltración de volúmenes significativos de agua hacia el cuerpo del talud.
Impacto y Vulnerabilidad:	La rotura de la tubería generó un aniego en el Circuito de Playas a la altura de la bajada Huaylas, con incremento significativo del tráfico vehicular. No se registraron deslizamientos ni víctimas durante el evento inmediato. Sin embargo, el incidente demostró que las redes de servicios instaladas en la cresta del acantilado constituyen un factor de riesgo latente, capaz de desencadenar saturación del talud de forma no controlada.

Fuente: La República (2024).

Tabla N° 13: Peligros por deslizamiento en la Costa Verde

EVENTO N° 15: Deslizamiento en Bajada Armendáriz (Miraflores) Desencadenado por Sismo Mw 4.8	
Fecha / Período:	14/04/2024
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa (deslizamiento) desencadenado por sismo de Magnitud 4.8, con epicentro registrado por el IGP
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: acantilado en el sector de la bajada Armendáriz (Miraflores), con materiales aluviales no consolidados y pendiente escarpada. Factor desencadenante: sismo de Magnitud 4.8 registrado por el IGP en horas de la mañana. El evento confirmó la susceptibilidad del acantilado ante sismos de magnitud incluso inferior a 5.0, coherente con el bajo factor de seguridad estático de los materiales del talud (estimado en valores cercanos a 1.0 en condiciones secas).

Impacto y Vulnerabilidad:	El deslizamiento cubrió un carril de la vía en la bajada Armendáriz, la principal arteria de acceso al Circuito de Playas desde el distrito de Miraflores. Por razones de seguridad, se cerró completamente el desvío hacia el Circuito de Playas hasta el día siguiente (15 de abril) para evaluación de estabilidad. No se registraron heridos
----------------------------------	--

Fuente: La República (2024).

Tabla N° 14: Deslizamientos originado por movimientos sísmicos

EVENTO N° 17: Deslizamientos en Costa Verde por Sismo Mw 6.1 — Epicentro frente al Callao	
Fecha / Período:	15/06/2025 — 11:35 horas
Tipología del Peligro:	Movimiento en masa múltiple (deslizamientos simultáneos en varios sectores) desencadenado por sismo de Magnitud 6.1, con epicentro a 30 km al suroeste del Callao (IGP)
Descripción Técnico-Científica:	Factor condicionante: estado de inestabilidad sistémica de los acantilados de la Costa Verde, documentado por INDECI desde 2019. Factor desencadenante: sismo de Magnitud 6.1 con epicentro próximo al litoral, que generó aceleraciones superficiales amplificadas por los depósitos aluviales no consolidados. La Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN-Marina de Guerra) descartó alerta de tsunami.
Impacto y Vulnerabilidad:	Caídas de tierra y piedras en múltiples puntos del Circuito de Playas. Las municipalidades de Miraflores y Chorrillos dispusieron el cierre preventivo de los accesos a la Costa Verde

Fuente: RPP Noticias (2025).

2. CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO

2.1. Ubicación

Los acantilados de la Costa Verde constituyen el frente marino occidental del abanico fluvio-aluvial del río Rímac, el mayor sistema deposicional cuaternario de la costa central del Perú. Este abanico aluvial cubre aproximadamente 1,200 km² de la depresión costera limeña y se extiende desde los 3,500 m s.n.m. en los Andes occidentales hasta el nivel del mar, adoptando un patrón de distribución radial con vértice en el cañón de Chosica. La franja costera bajo estudio se extiende 22.5 km lineales desde el distrito de La Punta (Callao) hasta la playa La Chira (Chorrillos), abarcando seis distritos del litoral metropolitano limeño.

La Costa Verde se ubica en la margen continental activa de la Placa Sudamericana, en la zona de subducción de la Placa de Nazca, lo que determina una alta sismicidad de fondo y un riesgo estructural permanente para los taludes acantilados. La escasa pendiente del abanico aluvial en el sector litoral (entre 1° y 3° en la planicie costera) contrasta radicalmente con la verticalidad de las paredes del acantilado (60° a 90° en sectores críticos), configurando una geometría de alta inestabilidad estructural intrínseca. Su conformación está dada por depósitos aluviales poco consolidados de conglomerados, gravas y arenas del Pleistoceno. La combinación de pendientes escarpadas (>45°), materiales no cementados, presencia de filtraciones antrópicas y sismicidad elevada configura una condición de peligro alto recurrente, validada por el Informe Técnico INGEMMET N° A7351 (2023).

Figura N° 1: Mapa de ubicación



Elaboración: Equipo Técnico

2.2. Aspectos Climáticos

En el área del proyecto se evaluaron los registros pertenecientes a estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), las cuales han sido consideradas como las más representativas para la caracterización climatológica a nivel local por su cercanía al proyecto. Asimismo, se tomará información de diferentes páginas webs disponibles para complementar dicha información.

2.2.1. Clima

El clima es uno de los factores que mayor influencia ejerce sobre el suelo, la flora y la fauna. El Perú por su ubicación latitudinal le correspondería un clima cálido y seco; sin embargo, existen factores que dan origen a una variedad de climas contrastantes, que se incluyen en diferentes sistemas de clasificación; siendo las más importantes:

- La cordillera de los andes que atraviesa al Perú en toda su longitud, que a su vez forma una barrera para la circulación de los vientos, modificando las condiciones de temperatura, humedad, precipitación, insolación, evaporación y nubosidad.
- El Anticiclón del pacífico sur, que genera vientos que llegan a la costa del Perú desde el Sureste.

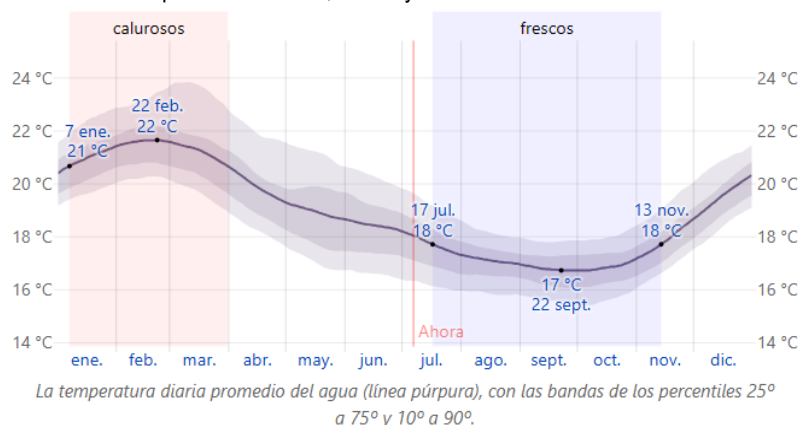
- La Corriente Oceánica Peruana Humboldt que enfría los vientos alisos y produce alteraciones en la costa, impidiendo la producción de precipitaciones y formando en gran parte del año densas neblinas a lo largo de la costa.
- El Fenómeno del Niño que condiciona el carácter tropical de la costa norte y cuando en años excepcionales, avanza hacia el Sur, desplazando a la corriente fría del Humboldt, creando modificaciones que se traducen en precipitaciones excepcionales.

En base al mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI, información base apoyada en datos meteorológicos el cual permitió formular los índices climáticos y al trazado de acuerdo con el sistema de clasificación de climas de Werren Thornthwaite, el área de análisis presenta una Zona climática **E(d) B'** lo que significa una Zona desértica templada, con deficiencia de lluvias y humedad en todas las estaciones del año y una eficiencia de temperatura frígido.

2.2.2. Temperatura

En Lima, la temperatura promedio del agua presenta una marcada variabilidad estacional a lo largo del año. Por un lado, el periodo de mayor calentamiento se extiende durante 2,8 meses, desde el 7 de enero hasta el 31 de marzo, con registros superiores a los 21 °C y alcanzando su valor máximo estival en febrero, con una media de 22 °C. Por otro lado, la fase más fría abarca 3,9 meses, entre el 17 de julio y el 13 de noviembre, caracterizándose por temperaturas inferiores a los 18 °C y registrando su punto mínimo anual en septiembre, cuando se ubica en un promedio de 17 °C.

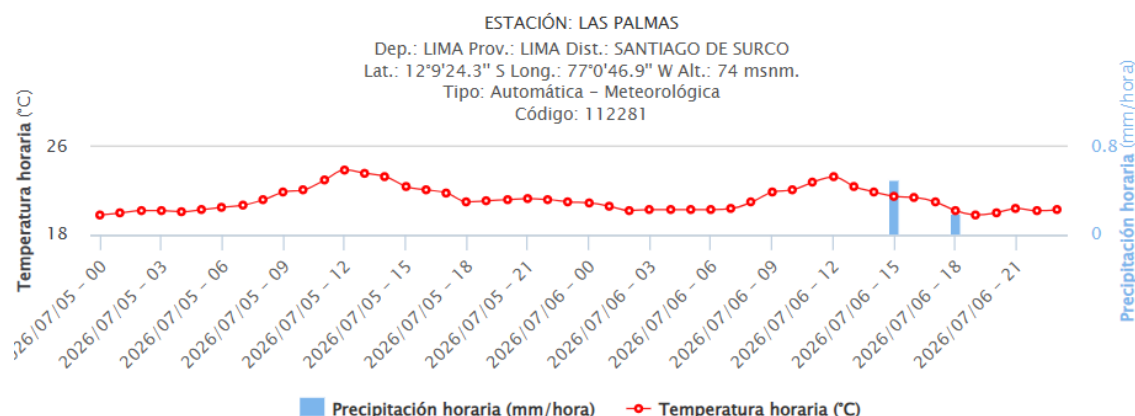
Gráfico N° 2: Temperatura máxima, media y mínima mensual en el ámbito de estudio



Fuente: Weatherspark

Las temperaturas máximas en la estación Las Palmas para el mes de julio fluctúan en el año entre 23.9 °C y 22.8°C en julio, mientras que la temperatura mínima oscila entre 18.3 °C en julio y 15.6°C.

Gráfico N° 3: Temperaturas registradas en la Estación Las Palmas



Fuente: SENAMHI

El fenómeno más relevante desde la perspectiva de la meteorización del acantilado es la persistente capa de inversión térmica que se establece entre los 300 y 900 m s.n.m. durante el período otoño-invernal (abril a octubre). Esta inversión, asociada a la subsidencia del Anticiclón del Pacífico Sur (APS) y al enfriamiento superficial del mar inducido por la Corriente de Humboldt (TSM media en la Bahía de Miraflores: 15–17°C), impide la convección libre y genera condiciones de alta humedad persistente (HR > 90%) en la superficie del acantilado durante los meses de junio a septiembre.

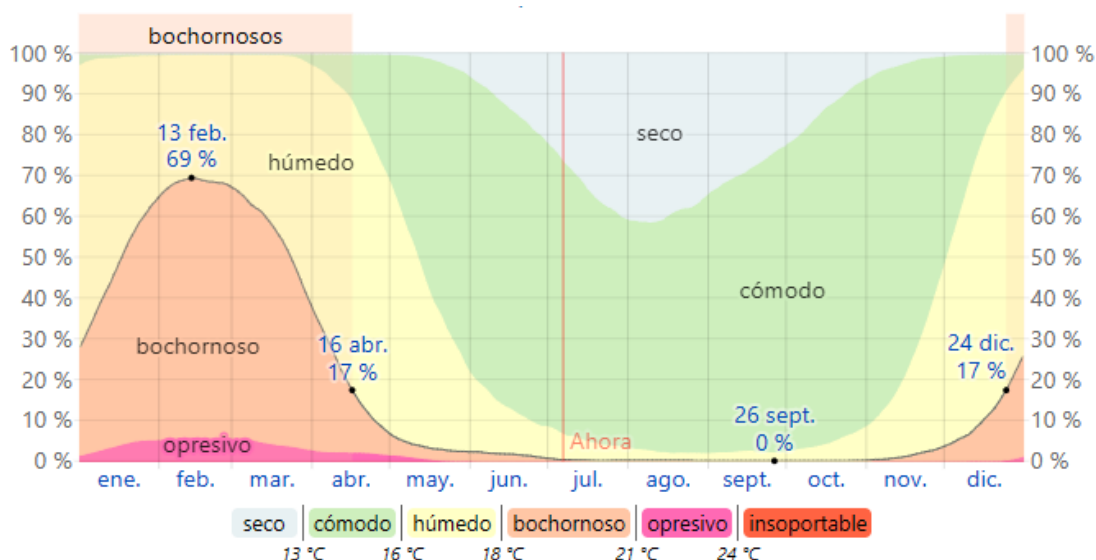
Esta hipersaturación hídrica del aire propicia procesos de meteorización química sobre los granos de cuarzo y la matriz arcillo-limosa del conglomerado: hidrólisis de feldespatos residuales, disolución de carbonatos de calcio presentes en la cementación interparticular (caliche superficial) y expansión-contracción de arcillas expansivas (esmectitas y ilitas detectadas en sondeos) inducida por ciclos de humedecimiento y secado. La combinación de estos procesos reduce progresivamente la cohesión aparente (c') del material conglomerádico en el horizonte superficial, incrementando la susceptibilidad al desmoronamiento.

2.2.3. Humedad Relativa

El presente análisis evalúa el nivel de confort térmico y la percepción de humedad en el ámbito de estudio de la ciudad de Lima (Perú), tomando como variable de referencia el punto de rocío por su relación directa con la tasa de evaporación transpiratoria e inhibición del enfriamiento corporal. A diferencia de las oscilaciones térmicas diurnas, la estabilidad temporal de esta variable prolonga las condiciones de bochorno durante los periodos nocturnos.

Así, el comportamiento estacional limeño evidencia una marcada variabilidad ambiental, registrando un periodo de máxima incomodidad de 3,7 meses, del 24 de diciembre al 16 de abril, donde las condiciones resultan opresivas durante al menos el 17 % del tiempo, alcanzando su pico crítico en febrero con 19,1 días bochornosos. Por el contrario, la fase de mayor confort atmosférico ocurre en septiembre, mes que presenta un registro nulo de estrés térmico por humedad.

Tabla N° 16: Humedad relativa %



Fuente: Equipo técnico

2.2.4. Dirección y Velocidad de los Vientos

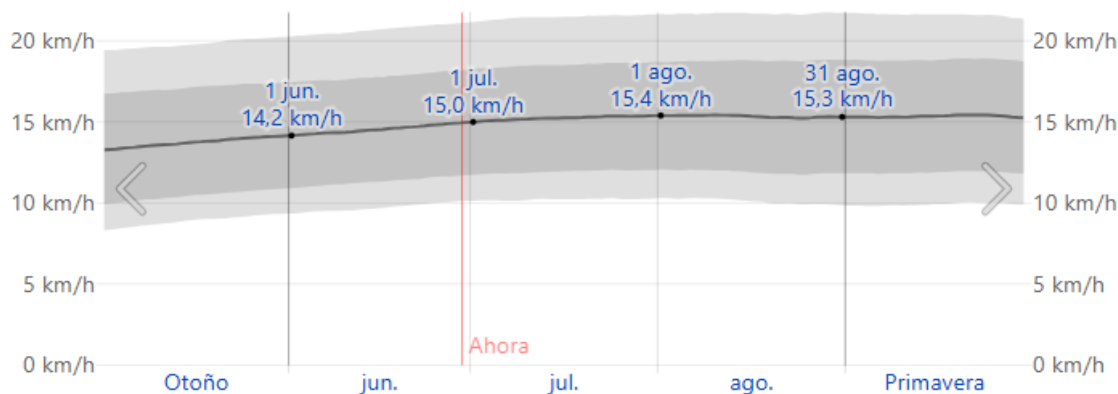
El régimen de vientos sobre el litoral limeño está gobernado por el Anticiclón del Pacífico Sur (APS), cuya influencia genera una circulación de superficie de componente dominante Sur-Suroeste (S–SSW) con velocidades medias de 3 a 6 m/s (5–12 nudos) durante la mayor parte del año. En los meses de verano (diciembre–marzo), la celda anticiclónica se desplaza hacia el sur, permitiendo el ingreso esporádico de vientos del N–NNW asociados a pulsos sinópticos de escala regional.

La estación de la Marina de Guerra del Perú en La Punta (Callao) y los registros de la DHN documentan velocidades medias anuales de 4.2 m/s con ráfagas de hasta 12–14 m/s durante episodios de viento fuerte asociados a la intensificación del APS. Las rachas más intensas se registran durante el invierno austral, en coincidencia con el máximo desarrollo de la inversión térmica, generando en la cresta del acantilado condiciones de exposición aerodinámica que aceleran la meteorización eólica de los materiales expuestos.

Asimismo, de acuerdo al portal web de análisis climático Weatherspark, señala que la velocidad promedio del viento presenta variaciones a lo largo de todo el año. En el régimen térmico local, el periodo de mayor intensidad eólica abarca un total de 7,2 meses, del 10 de mayo al 16 de diciembre, caracterizándose por velocidades medias superiores a los 13,6 km/h y alcanzando su pico anual durante el invierno en el mes de septiembre, con un registro de 15,3 km/h.

Por el contrario, la fase de mayor calma atmosférica se extiende por 4,8 meses, del 16 de diciembre al 10 de mayo, registrando su punto mínimo durante la temporada estival en el mes de febrero, cuando los vientos descienden a un promedio de 11,8 km/h.

Gráfico N° 4: Velocidad promedio del viento por hora



El promedio de la velocidad media del viento por hora (línea gris oscuro), con las bandas de percentil 25º a 75º y 10º a 90º.

Fuente: Weatherspark

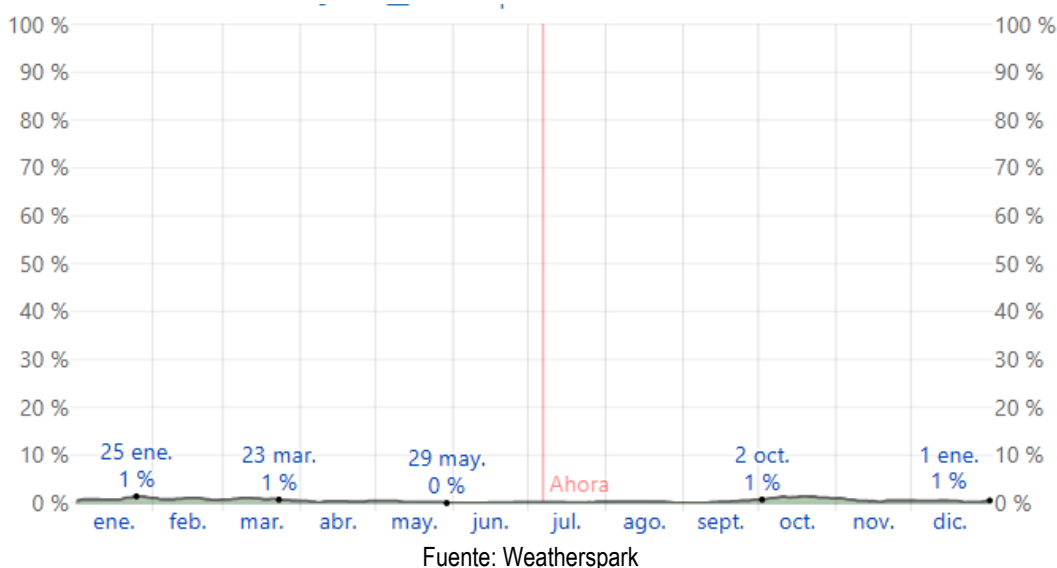
La exposición directa del frente SW del acantilado a los vientos del SSW genera una acción abrasiva eólica particularmente intensa sobre los lentes arenosos intercalados en el conglomerado. El viento actúa como agente de deflación diferencial: erosiona preferencialmente las zonas de menor cohesión (arenas finas intercaladas, horizontes de matriz empobrecida en finos) y deja en resalte los clastos más gruesos (gravas y guijarros), creando estructuras en alvéolo y nichos de meteorización que funcionan como núcleos de iniciación de desprendimientos. La erosión eólica actúa en sinergia con la acción mecánica del oleaje en el pie del talud, configurando un mecanismo de erosión remontante (backwearing) que tiende a la verticalización progresiva del perfil del acantilado.

2.2.5. Precipitación

El Perú es uno de los países que recibe con mayor frecuencia mayores impactos de las principales variables del Fenómeno El Niño: el océano y la atmósfera. Esto es a causa de su ubicación geográfica respecto al Océano Pacífico. Por lo tanto, dependiendo de su intensidad y temporalidad se generan una serie de eventos climáticos en la vertiente occidental.

En el ámbito de estudio, la frecuencia de días mojados (aquellos con más de 1 milímetro de precipitación líquida o de un equivalente de líquido) no varía considerablemente según la estación. La frecuencia varía de 0 % a 1 %, siendo octubre, el mes con más días con solo lluvia. El tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 1 % el 25 de enero.

Gráfico N° 5: Probabilidad de precipitación diaria en Lima



2.2.6. Eventos Extraordinarios Asociados a Lluvias

Durante los episodios de El Niño (FEN) extraordinario, el patrón de precipitación del litoral limeño se altera radicalmente. En el FEN de 1982–83 y 1997–98 se registraron precipitaciones horarias de hasta 30–50 mm en el sector de Lima Norte y precipitaciones acumuladas mensuales de 50–150 mm en la costa central, valores entre 10 y 20 veces superiores a la normal. El evento costero del Ciclón Yaku (marzo 2023) generó acumulados de precipitación de 15–40 mm en 24 horas sobre Lima Metropolitana, desencadenando múltiples desprendimientos en el acantilado de la Costa Verde y evidenciando la alta susceptibilidad del sistema ante episodios pluviométricos extraordinarios.

El SENAMHI y el EFEN han Confirmado la activación de condiciones El Niño para el periodo 2026-2027. Se requiere activación inmediata de protocolos de monitoreo continuo del frente del acantilado y restricción preventiva de acceso de acceso a la vía costanera durante los episodios de precipitación superior a 5mm/h.

2.3. Caracterización Hidrogeológica

Según el Informe Técnico N° A7351, elaborado por la Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico del INGEMMET (2022), la caracterización hidrogeológica de la Costa Verde se sustenta en el cartografiado geológico de campo y en el desarrollo de ensayos de permeabilidad orientados a determinar los parámetros hidráulicos de las unidades litológicas presentes en el acantilado y en la subcuenca baja del río Rímac. Dicha caracterización constituye la base para la elaboración del mapa hidrogeológico del área de estudio a escala 1/25 000, elaborado siguiendo los lineamientos de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH).

2.3.1. Inventario de fuentes de agua

El informe reporta el levantamiento de 13 puntos de inventario de fuentes de agua subterránea y superficial a lo largo del acantilado de la Costa Verde, de los cuales 11 corresponden a manantiales y 2 a puntos de control asociados a canales de agua. Los manantiales de mayor caudal identificados se encuentran distribuidos principalmente entre los distritos de Chorrillos, Barranco y Miraflores

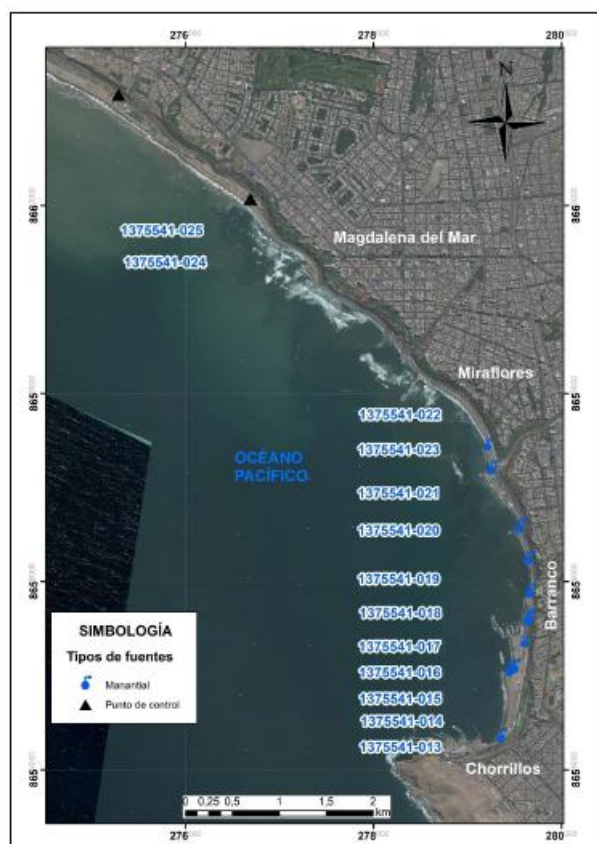
Gráfico N° 6: Playa Los Yuyos



Gráfico N° 7: Playa Los Yuyos



Gráfico N° 8: Ubicación de los puntos evaluados



Fuente: INGEMMET, 2022.

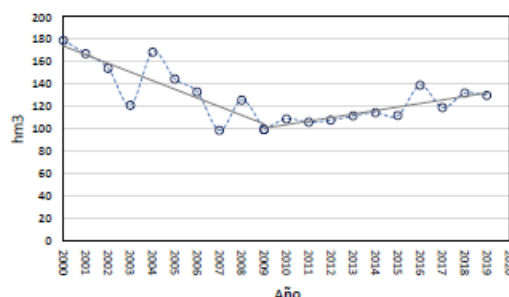
Gráfico N° 9: Manantial en Malecón de Reserva



Fuente: INGEMMET, 2022.

Respecto a la extracción de agua subterránea, el informe señala la existencia de 2 623 pozos en la zona de estudio, de los cuales 452 son administrados por SEDAPAL, 1 481 corresponden a usuarios particulares y aproximadamente 690 son de uso informal o clandestino. El volumen de explotación formal e informal se estima en 135 hm³/año (ANA, 2015). La serie histórica 2000–2019 de extracción de los pozos SEDAPAL muestra una tendencia decreciente de 7,7 hm³/año entre 2000 y 2009, seguida de un incremento de 3,15 hm³/año entre 2009 y 2019.

Gráfico N° 10: Extracción de agua de los pozos de Sedapal



Fuente: INGEMMET tomando datos de Sedapal, 2019.

2.3.2. Parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica)

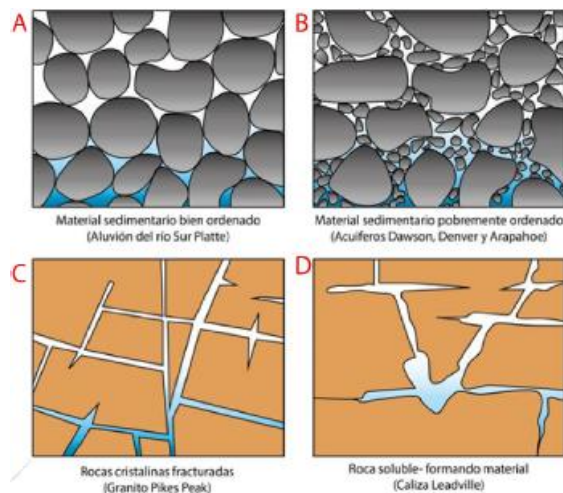
El informe clasifica a las formaciones geológicas de la Costa Verde según su comportamiento hidráulico en cuatro categorías: acuífero, acuitardo, acuífugo y acuícludo, en función de sus valores de porosidad y permeabilidad. Se precisa que, dado que la zona de estudio no presenta precipitación pluvial significativa (únicamente garúas y neblinas ocasionales), la circulación de agua subterránea depende fundamentalmente de la porosidad y permeabilidad de las unidades cuaternarias que dominan el área.

Tabla N° 17: Datos de Parámetros hidrogeológicos (porosidad, permeabilidad y conductividad hidráulica)

Clasificación hidrogeológica	Porosidad	Permeabilidad
Acuífero	Alta o moderada	Alta
Acuitardo	Alta o moderada	Baja
Acuícludo	Alta	Nula
Acuífugo	Nula o muy baja	Nula

Fuente: Peña et al., 2010, citado en INGEMMET, 2022).

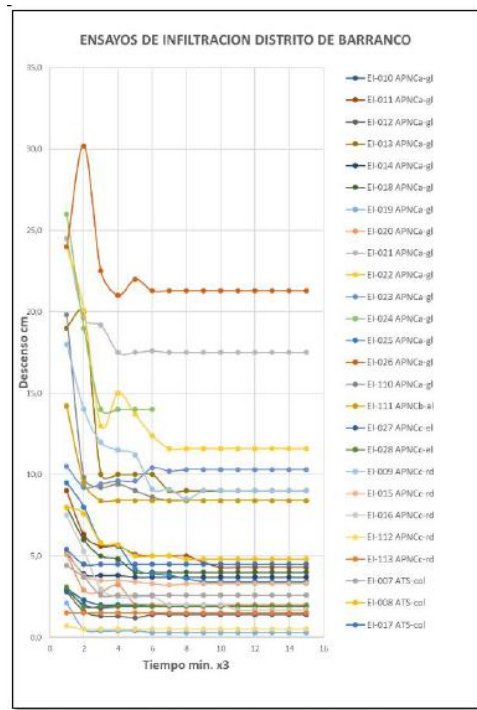
Gráfico N° 11: Porosidad y permeabilidad de unidades geológicas que forman acuíferos.



Fuente: INGEMMET, 2022.

La conductividad hidráulica fue determinada mediante 113 ensayos de infiltración en campo, procesados con el software AqteSolv Pro v4.5, distribuidos en los distritos de Chorrillos (6 ensayos), Barranco (26), Miraflores (59), Magdalena del Mar (18) y San Isidro/San Miguel (4). Los resultados agrupan el comportamiento hidráulico en cuatro unidades principales: gravas de Lima (alta porosidad y alta permeabilidad), unidad aluvial (moderada porosidad y alta permeabilidad), unidad eluvial/rellenos de desmonte y sedimento (, comportamiento variable) y unidad coluvial (clasificada como acuitardo por su baja permeabilidad).

Gráfico N° 12: Ensayos de infiltración en distrito de Barranco



Fuente: INGEMMET, 2022.

Gráfico N° 13: Ensayos de infiltración en la Costa Verde

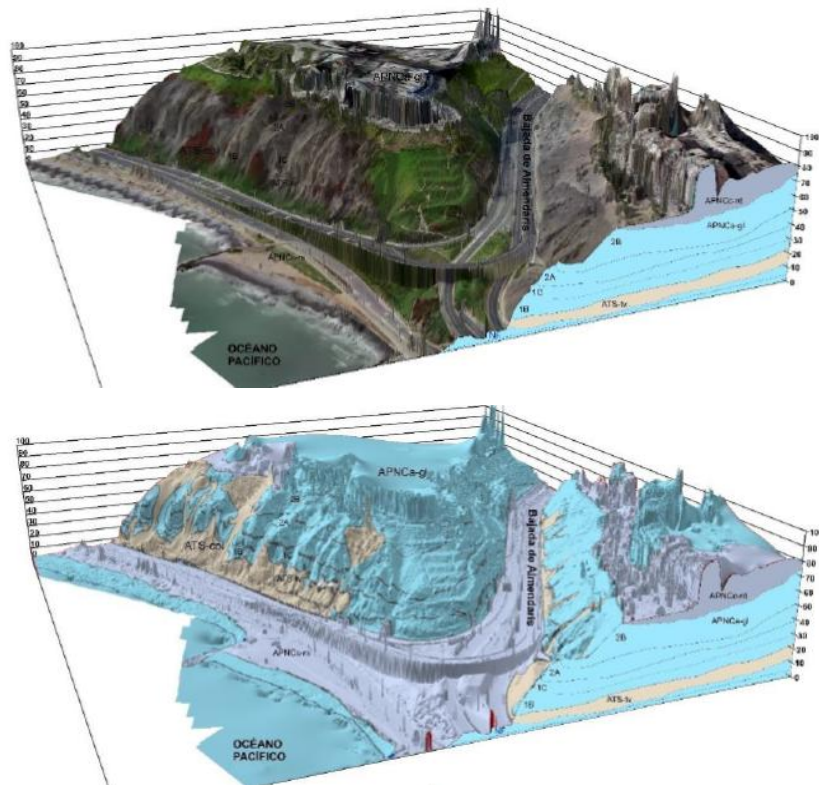
Fuente: INGEMMET, 2022.

2.3.3. Unidades hidrogeológicas identificadas

A partir del análisis litológico regional (subcuenca Bajo Rímac) y de los resultados de los ensayos de infiltración, las formaciones geológicas se clasifican en dos grandes grupos hidrogeológicos:

- **Acuíferos porosos no consolidados:** incluyen las unidades de gravas de Lima (alta productividad), depósitos fluviales y aluviales, depósitos aluviales holocenos (mediana productividad), depósitos eólicos y rellenos de desmonte y sedimentos (baja productividad). Estas unidades dominan el área de estudio por corresponder al cono de deyección aluvial del río Rímac, y sostienen la mayor parte de los pozos de SEDAPAL, ANA y usuarios particulares.

Gráfico N° 14: Modelo Referencial de la Bajada de Amendariz



Fuente: INGEMMET, 2022.

- Acuitardos: agrupan formaciones sedimentarias, volcano-sedimentarias, volcánicas e intrusivas, ubicadas principalmente en el límite superior del área evaluada; transmiten agua en cantidades mínimas, pero condicionan la movilidad y confinamiento del acuífero.

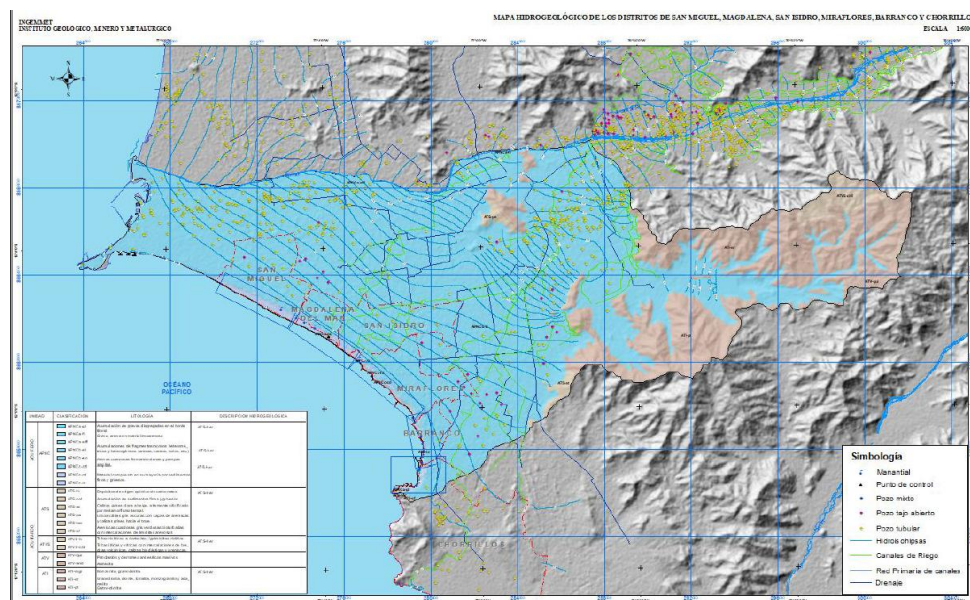
La unidad de relleno de sedimentos, correspondiente a las playas artificiales de la Costa Verde, es donde afloran varios de los manantiales inventariados, lo que constituye un punto relevante para el diagnóstico de riesgo por su interacción directa con la estabilidad de los depósitos de playa y del pie del acantilado.

Gráfico N° 15: Leyenda hidrogeológica del acantilado de la Costa Verde y Sub cuenca bajo Rímac

UNIDAD	CLASIFICACIÓN	LITOLOGÍA	DESCRIPCION HIDROGEOLÓGICA
ACUÍFERO	APNCe-gl	Acumulación de gravas disgregadas en el borde litoral.	ATS-her
	APNCe-fl	Grava, arena en matriz limoarenosa	
	APNCe-afll	Acumulaciones de fragmentosrocrosos heterométricos y heterogéneos (arenas, cantos, bolos, etc.)	
	APNCb-al	Arenas cuarzosas formando dunas y pampas amplias.	ATS-her
	APNCb-eo	Material compuesto en su mayoría por sedimentos finos y gruesos.	
	APNCc-cd		ATS-her
	APNCc-rs		
ACUITARDO	ATS-tv	Depósitos de origen químico de carbonatos	ATS-her
	ATS-col	Acumulación de sedimentos finos y gruesos	
	ATS-at	Calizas grises clara a beige, altamente silicificado por metamorfismo termal.	
	ATS-pa	Limoarcillas gris oscuras con capas de areniscas y calizas grises hacia el tope.	ATS-her
	ATS-her	Areniscas cuarcosas gris verdosas bioturbadas con intercalaciones de limolitas arenosas	
	ATS-sf		
	ATVS-h	Tobas rídicicas e rioloditas, ignimbritas rídicicas	ATS-her
	ATVS-chil	Tobas líficas y vítricas con intercalaciones de brechas volcánicas, calizas biolíticas y areniscas	
	ATV-qui	Proclastos y denamias andesíticos masivos.	
	ATV-and	Andesita	
	ATI-mgr	Monzonita, granodiorita.	ATS-her
	ATI-gr	Granodiorita, diorita, tonalita, monzogranito y adalmita	
	ATI-pt	Gabro-diorita	

Fuente: INGEMMET, 2022.

Gráfico N° 16: Mapa Hidrogeológico



Fuente: INGEMMET, 2022.

2.3.4. Síntesis diagnóstica hidrogeológica

Respecto al análisis conjunto, las condiciones hidrogeológicas de la Costa Verde con relevancia directa para el diagnóstico de riesgos:

- El agua subterránea en el acuífero de Lima se desplaza a una velocidad promedio de 3 m/día, con recarga natural principal a través del cauce del río Rímac.
- El nivel freático hacia el acantilado de la Costa Verde está controlado por la composición litológica de los estratos, y estudios geofísicos evidencian saturación parcial del acantilado.
- Los afloramientos de agua al pie del acantilado evidencian flujos preferenciales asociados a la permeabilidad de los depósitos aluviales.
- Existe intrusión salina a lo largo de toda la Costa Verde, con mayor presencia en la zona de Chorrillos; la conductividad eléctrica alcanza valores de hasta 2 770 $\mu\text{S}/\text{cm}$, asociados a la influencia del agua de mar.
- Según la norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones, la concentración de sulfatos en el agua subterránea indica una exposición moderada a los sulfatos en la mayoría de puntos monitoreados (excepto en Magdalena del Mar).

Es decir, la saturación parcial del acantilado, afloramientos e intrusión salina— constituyen antecedentes técnicos directamente vinculables al diagnóstico de peligros por movimientos en masa e inestabilidad de taludes en la Costa Verde, en la medida en que la presencia de agua subterránea y su interacción con el pie del acantilado son factores condicionantes reconocidos de dicha inestabilidad.

2.4. Geomorfología

La Costa Verde (CV) constituye el frente litoral continuo de la planicie costera de Lima, desarrollado sobre el borde occidental del abanico fluvio-aluvial del río Rímac. Geomorfológicamente corresponde a una unidad de bahía (Bahía de Miraflores), limitada estructuralmente por los altos rocosos del Cretácico Inferior (Grupo Morro Solar) hacia el extremo sur y por la continuidad del abanico aluvial hacia el norte. La franja evaluada se extiende de forma ininterrumpida a lo largo de aproximadamente 10 km de frente costero, con anchos de faja variables entre 500 y 700 m medidos de noroeste a sureste.

2.4.1. Planicie Aluvial

Corresponde al remanente superior del abanico fluvio-aluvial del río Rímac, cuyas cabeceras se ubican en las cumbres altas de la sierra limeña. Constituye la superficie sobre la que se asienta la trama urbana continua paralela al litoral, delimitada en su borde occidental por la corona del acantilado.

Es una superficie deposicional relict, producto de la progradación de facies de flujos fluvio-aluviales y de manto del sistema fluvial trenzado del Rímac durante el Pleistoceno, posteriormente exhumada por el encajamiento del valle y truncada abruptamente por la erosión marina que generó el frente de acantilado.

Morfometría. Pendientes predominantemente llanas ($<1^\circ$) a suavemente inclinadas (1° - 5°); en el sector norte del área de estudio la planicie se sitúa entre 50 y 61 m.s.n.m., mientras que en el extremo sur supera los 80-87 m.s.n.m., reflejando el buzamiento regional ligeramente ascendente del abanico hacia el sureste.

Procesos de geodinámica externa asociados. La planicie en sí es geomorfológicamente estable; sus procesos activos se concentran en su borde de contacto con el acantilado (ver 1.4) y en sectores puntuales donde antiguas quebradas o canteras de agregados fueron rellenadas de forma no controlada entre 1943 y 1990 (ver depósitos antrópicos, 1.7), generando zonas de peligro potencial por asentamiento diferencial.

2.4.2. Acantilados

2.4.2.1. Unidad del Acantilado-Talud Principal

Es la unidad morfológica definitoria de la Costa Verde: un talud continuo de origen marino-fluvial que separa la planicie superior de las terrazas y la línea de playa.

En su condición antigua (1943-1960), el relieve estaba controlado por un régimen de erosión activa. La acción constante del mar golpeando la base, combinada con derrumbes por gravedad y el escurrimiento de agua sobre un suelo de grava y arena poco consolidado, mantenía pendientes muy empinadas (superiores a 45°). La pérdida constante de apoyo en la base provocó que el frente del acantilado retrocediera entre 30 y 70 metros, redistribuyendo de forma natural los sedimentos hacia la playa.

En su condición actual (2021), la dinámica del relieve ha cambiado a un estado modificado e inactivo en su base. La construcción de la vía costanera y las terrazas artificiales aisló al acantilado del contacto directo con el mar, frenando la socavación marina. Sin embargo, el cuerpo y la parte superior del talud siguen inestables debido a factores humanos, como el agua de riego que satura el terreno, el peso de las edificaciones en la corona y los cortes en la ladera. A nivel de relieve, la altura del escarpe varía progresivamente: inicia al norte entre los 20 y 50 metros, alcanza su nivel más alto en el sector centro-sur con 80 metros de elevación, y disminuye hacia el sur (40 a 55 metros), donde la presencia de rocas más duras le otorga mayor resistencia al terreno.

Tabla N° 18: Comparación de distribución de pendientes del relieve

Rango de pendiente	Descripción	Participación típica 1960	Participación típica 2021
< 1°	Llana	41% – 73%	50% – 70%
1° – 5°	Suavemente inclinada	13% – 35%	17% – 34%
5° – 15°	Moderada	4% – 12%	4% – 8%
15° – 25°	Fuerte	3% – 8%	2% – 5%
25° – 45°	Muy fuerte	4% – 10%	2% – 10%
> 45°	Muy escarpada	2% – 6%	1% – 3%

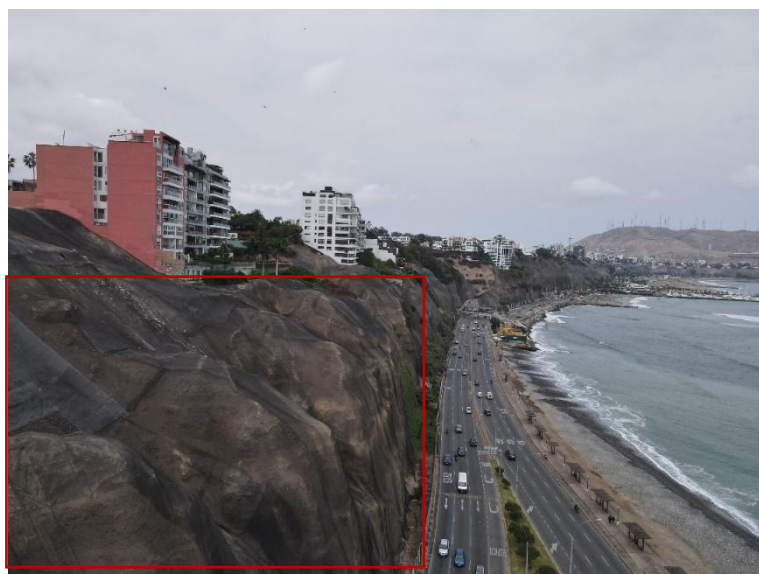
Nota: los rangos porcentuales sintetizan la variabilidad observada entre los distintos tramos de la franja costera; la tendencia general y consistente en toda la Costa Verde es la reducción relativa del área en pendientes muy escarpadas naturales y el incremento de pendientes llanas, por efecto de la creación de terrazas y rellenos antropogénicos que han desplazado la línea de base del talud.

Gráfico N° 17: Condiciones actuales del acantilado



Fuente: ET-PMCV

Gráfico N° 18: Acantilados con diferenciados rangos de pendiente





Fuente: ET-PMCV

2.4.2.2. Unidad de Borde de Acantilado-Corona

Corresponde a la franja de contacto entre la planicie aluvial y la cresta del talud, coincidente con la zona de arranque (corona) de los procesos de deslizamiento y derrumbe. Es una faja angosta pero continua a lo largo de toda la Costa Verde, de extensión variable según la irregularidad en planta del frente de acantilado (entrantes y salientes).

Se genera por el retroceso paulatino de la cresta del talud como consecuencia de la pérdida progresiva de confinamiento lateral y basal del material, tanto por procesos naturales (erosión remontante de cárcavas, descalce por caída de bloques) como antrópicos (cortes para miradores y vías, sobrecarga por edificaciones y áreas verdes, infiltración por riego).

Características morfométricas. Presenta formas cóncavas en planta que constituyen indicadores geomorfológicos de zonas de arranque incipientes o activas de deslizamientos rotacionales; es sobre esta unidad donde se concentra la mayor densidad de grietas de tensión y escarpes semicirculares descritos.

Procesos de geodinámica externa asociados. Es la unidad de mayor susceptibilidad de toda la caracterización: en ella se inician los agrietamientos que anteceden a deslizamientos rotacionales, los escarpes activos con desplazamientos verticales de centímetros a un metro, y es la zona de mayor riesgo de pérdida de soporte para estructuras, vías y áreas verdes de la planicie superior. La saturación por riego de parques colindantes constituye uno de los principales factores desencadenantes identificados, al infiltrarse hacia el subsuelo y erosionar internamente los sedimentos finos, generando vacíos y reacomodamientos.

Gráfico N° 19: Áreas verdes en la planicie superior



Fuente: ET-PMCV

Gráfico N° 20: Deslizamientos en el borde del acantilado



Fuente: ET-PMCV

2.4.3. Terraza Antropogénica (Alta y Baja)

Corresponde a superficies escalonadas intermedias entre la corona del acantilado y el borde litoral, generadas por corte y relleno artificial. Se diferencian dos sub-unidades:

- **Terraza alta:** relieve elevado respecto a las terrazas adyacentes, formado parte del antiguo cuerpo del acantilado hasta antes de 1960 (cuando presentaba pendientes muy escarpadas) y posteriormente antropizado mediante extracción y explanación para uso urbano (áreas residenciales y recreativas). Pendientes llanas a ligeramente inclinadas.

- **Terraza baja:** franja que limita la costa y playa con el pie del acantilado, con desnivel de 5 a 15 m sobre el nivel del mar; alberga parques, ciclovías y vías secundarias cimentadas sobre depósitos de relleno de origen heterogéneo.

Ambas son geoformas de carácter antropogénico resultantes del movimiento de grandes volúmenes de material (desmante de obras viales, rellenos de sedimentos y de bloques de demolición) depositados desde mediados del siglo XX y con mayor intensidad entre 1990 y 2001, cuando el material excedente de obras de infraestructura vial fue reutilizado para ampliar la planicie costera y crear terraplenes.

Morfometría. Su extensión conjunta puede alcanzar entre 30 y 70 ha por tramo; los desniveles entre terraza baja y línea de playa oscilan entre 5 y 15 m.

Procesos de geodinámica externa asociados. Al estar cimentadas sobre rellenos heterogéneos, no controlados geotécnicamente en su mayoría, y sobre antiguos cauces de quebrada o zonas de extracción de agregados, constituyen unidades de peligro potencial por asentamiento diferencial y hundimiento; adicionalmente reciben en su primera línea el impacto de deslizamientos y derrumbes provenientes del talud superior.

Gráfico N° 21: Terraza antropogénica baja



Fuente: ET-PMCV.

Gráfico N° 22: Arrojo de desmante en las playas de la Costa Verde



Fuente: ET-PMCV

2.4.4. Terraplén y Espigones:

2.4.4.1. Terraplén

Estructuras lineales de relleno artificial que emplazan las vías de conexión entre la planicie superior, la terraza y la vía costanera, salvando el desnivel principal del acantilado mediante cortes y rellenos de material.

Resultan de obras de ingeniería vial ejecutadas progresivamente desde mediados del siglo XX, superpuestas sobre la traza original del talud.

Procesos de geodinámica externa asociados. Al tratarse de rellenos de compactación variable emplazados sobre pendientes originalmente fuertes a muy escarpadas, son susceptibles de asentamiento y de favorecer la concentración de escorrentía hacia el cuerpo del acantilado adyacente si su drenaje superficial es deficiente.

Gráfico N° 23: Elemento gráfico referencial de Geomorfología (9)



Fuente: ET-PMCV

2.4.4.2. Espigones

Estructuras lineales y rectas, también denominadas rompeolas o escolleras, construidas con bloques de roca (depósito de rocas, Qr-r) o elementos prefabricados de concreto, emplazadas perpendicularmente a la línea de costa por debajo del nivel del agua.

Función geomorfológica y procesos asociados. Modifican la dinámica de corrientes y oleaje, reduciendo la energía de oleaje incidente e induciendo sedimentación diferencial de arenas y gravas en su trasdós; han sido determinantes en la ampliación artificial documentada del borde litoral y playa (unidad 1.8). Se han identificado estructuras individuales de entre 100 y 328 m de longitud.

Gráfico N° 24: Ubicación de espigones



Fuente: ET-PMCV

2.4.5. Cárcavas y Surcos:

Incisiones lineales del relieve, de escala centimétrica a métrica (surcos) y de mayor profundidad y anchura (cárcavas de hasta 60 m de profundidad, 220 m de largo y 100 m de ancho en los casos más desarrollados, correspondientes a antiguos cauces o zonas de extracción de agregados posteriormente rellenadas).

Erosión hídrica concentrada: el agua de lluvia y de escorrentía superficial fluye sin protección sobre materiales poco compactos y deleznales; a mayor caudal, el canal se ensancha y profundiza incrementando la pendiente local del thalweg. El proceso se intensifica por clima árido, escasa cobertura vegetal natural y trazado deficiente de vías que concentran flujos.

Morfometría. Se desarrollan preferentemente sobre pendientes llanas a moderadas en su tramo distal y sobre las pendientes fuertes a muy escarpadas del cuerpo del acantilado en su tramo proximal (cabecera).

Estado antiguo vs. actual. Las cárcavas fueron la geoforma dominante de erosión hasta 1960; en la actualidad, gran parte han sido cubiertas por geomallas de contención o rellenadas, quedando como relictos de menor extensión (reducciones de más del 90% del área ocupada respecto a 1960 en varios tramos), aunque conservan valor como indicador de zonas de peligro potencial por hundimiento

Gráfico N° 25: Elemento gráfico referencial de Geomorfología (12)



Fuente: ET-PMCV

Gráfico N° 26: Presencia de surcos y cárcavas en el acantilado.



Fuente: ET-PMCV

2.4.6. Borde Litoral y Playa

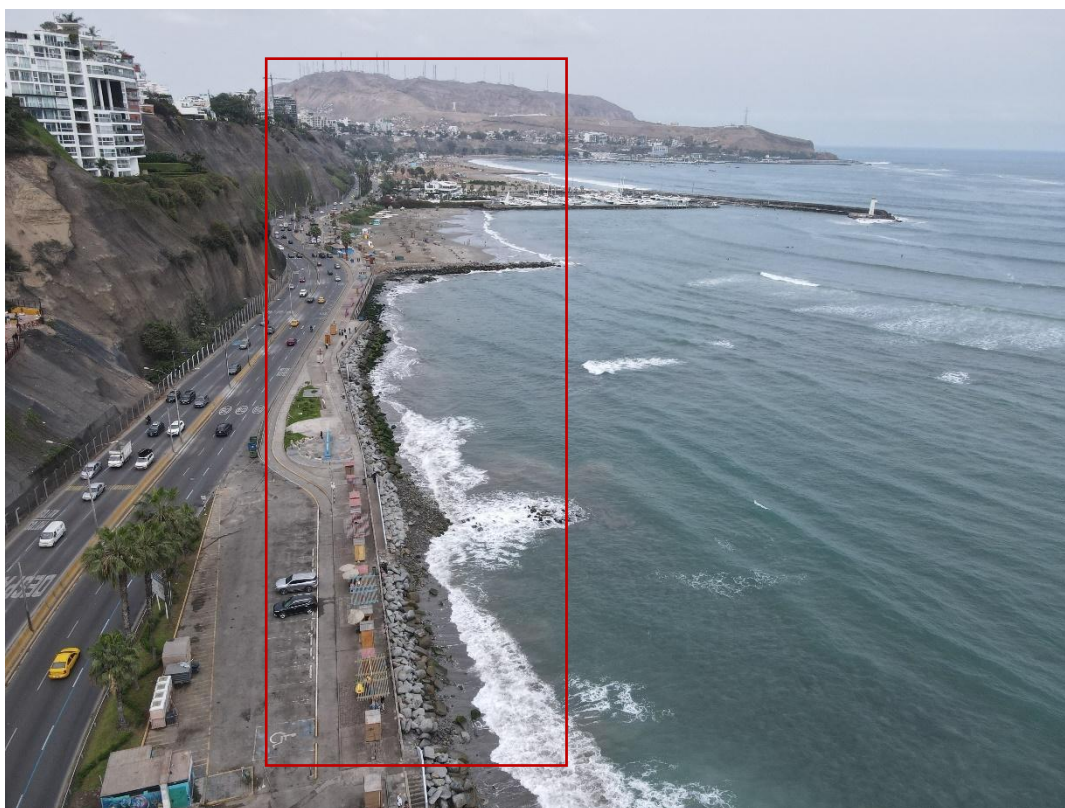
Corresponde a la franja de contacto directo entre el continente y el Océano Pacífico, de ancho variable (históricamente entre 8 y 60 m, dependiendo del tramo).

Su configuración depende del balance entre el levantamiento tectónico regional asociado al proceso de subducción y las variaciones eustáticas del nivel del mar; a escala de miles de años ha experimentado variaciones considerables. Es la geoforma de mayor intervención antrópica de toda la Costa Verde: se ha desplazado mar adentro hasta 130 m en algunos tramos por efecto combinado de la construcción de espigones de roca, que inducen sedimentación de arenas y formación de playas artificiales, y de la acumulación de relleno antrópico reciente.

Morfometría. Playas históricamente arenosas en el sector centro-norte y de gravas/cantos rodados hacia el extremo norte; pendientes de playa pronunciadas donde la erosión marina es medianamente intensa, más tendidas donde la sedimentación inducida por espigones predomina.

Procesos de geodinámica externa asociados. Erosión marina activa por oleaje y corrientes litorales; localmente, procesos de sedimentación inducida (progradación) en el trasdós de espigones; recepción directa de derrumbes y deslizamientos-derrumbes provenientes del talud cuando estos alcanzan la vía costanera.

Gráfico N° 27: Playas a lo largo de la Costa verde





Fuente: ET-PMCV

2.4.7. Depósitos Coluviales

Acumulaciones de sedimentos finos y gruesos desprendidos del cuerpo del acantilado y esparcidos a lo largo del pie del talud, correspondientes a la unidad litológica de depósitos coluviales (Qr-col, Holoceno).

Son el producto sedimentario directo de los procesos de erosión y movimientos en masa (derrumbes, deslizamientos-derrumbe) descritos en 1.3.2; se acumulan por gravedad al pie de las zonas de mayor actividad gravitacional, conformando geoformas de abanico o cono de deyección coluvial de reducida extensión areal pero recurrentes a lo largo de toda la franja.

Procesos de geodinámica externa asociados. Continúan siendo removilizados episódicamente por eventos de derrumbe posteriores y, en los tramos donde el pie del talud conserva contacto con la dinámica costera, por retrabajo de oleaje.

Gráfico N° 28: Ubicación de depósitos coluviales



Gráfico N° 29: Elemento gráfico referencial de Geomorfología (17)



Fuente: ET-PMCV

Gráfico N° 30: Geoformas identificadas en el área de estudio



Fuente: ET-PMCV

2.5. Geología

Las rocas más antiguas del área de Lima Metropolitana son de edad mesozoica y afloran únicamente en relieves aislados modelados por el encajonamiento de la red de drenaje y en las primeras estribaciones andinas; dentro del área de la Costa Verde, este basamento solo se manifiesta en el extremo meridional (sector sur), donde el abanico aluvial limita estructuralmente con las rocas del Cretácico Inferior del Grupo Morro Solar. El resto de la franja, totalidad de los acantilados evaluados, está tallado sobre materiales cuaternarios recientes (Pleistoceno-Holoceno) que conforman el relleno de los fondos de valle y las planicies que descienden hacia el litoral, donde la erosión marina ha esculpido el frente de acantilados.

2.5.1. Abanico Aluvial de Lima:

El registro sedimentario expuesto de forma continua en el frente de acantilados de toda la Costa Verde permite reconstruir la evolución del abanico aluvial de Lima, compuesto por facies de flujos fluvio-aluviales que rellenan paleocauces, depósitos de arroyada en manto y travertinos post-sedimentarios.

El análisis estratigráfico de 51 columnas medidas en campo entre los extremos sur y norte de la franja evaluada, más al norte la litología queda cubierta por geomalla de contención, permitió diferenciar la arquitectura estratigráfica de tercer, segundo y primer orden que se describe a continuación

- **Secuencia 1 (inferior).** Predominan niveles arenosos y limosos, con presencia subordinada de gravas. Corresponde litoestratigráficamente a la unidad cartografiada como Depósitos fluvio-aluviales finos (Qp-fal_f): estratos de arenas, limos y arcillas, de edad pleistocena, ubicados preferentemente en el cuerpo del acantilado.
- **Secuencia 2 (superior).** Predominan conglomerados, con niveles y lentes de arena intercalados. Corresponde a la unidad Depósitos fluvio-aluviales gruesos (Qp-fal_g): secuencia de gravas con matriz areno-limosa, de edad pleistocena, que constituye el nivel más resistente y con mayor expresión topográfica del acantilado.

Figura N° 2: Vista de la unidad de Abanico aluvial



Fuente: Equipo técnico

2.5.2. Conglomerado del Acantilado:

El relieve de los acantilados de la Costa Verde se encuentra condicionado por una potente secuencia de depósitos sedimentarios antiguos (pleistocenos) y por una cobertura de depósitos más recientes (holocenos), tanto de origen natural como creados por el ser humano.

Origen Pleistoceno

La estructura que sostiene la mayor parte de la pared del acantilado está compuesta por dos secuencias fluvio-aluviales:

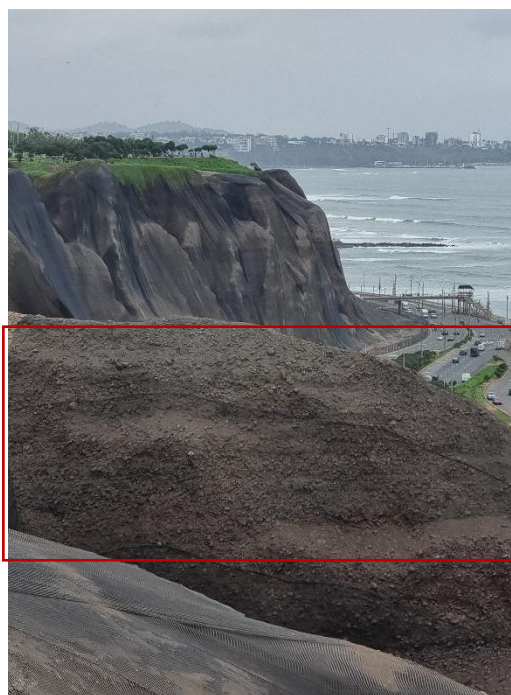
- **La unidad conglomerádica superior (Secuencia 2 / Qp-fal_g):** Es la capa de mayor impacto en la forma del relieve. En el tramo central alcanza más de 60 m de grosor (coincidiendo con las zonas más altas del acantilado, de hasta 80 m de altura) y está formada por gravas y cantos rodados. Hacia los extremos norte y sur, esta capa se vuelve más delgada (menos de 30 m) y cambia su composición hacia materiales más finos, como arenas y limos.
- **La secuencia inferior (Secuencia 1 / Qp-fal_f):** Corresponde a la base visible del acantilado y está compuesta por capas alternadas de arenas, limos y arcillas.

Origen Holocénico

Sobre este cuerpo principal se apoyan depósitos más recientes que modifican la estabilidad y la forma del terreno:

- **Depósitos naturales:** En el pie del talud y dentro de las cárcavas destacan los materiales coluviales (Qr-col), producto de caídas y caídas continuas de suelo. En la base del tramo centro-sur se observan travertinos (Qr-tv), que evidencian antiguas salidas de agua subterránea. Finalmente, la franja de playa está formada por arenas y gravas marinas (Qr-ma / Qr-mg).
- **Depósitos antrópicos (Rellenos artificiales):** La morfología natural ha sido alterada por la actividad humana. Destacan los rellenos de desmonte (Qr-rd) con bloques de concreto y ladrillo en la corona (parte superior) para tapar quebradas, y los rellenos de sedimentos (Qr-rs) en la base para ganar espacio al mar y construir áreas públicas.

Gráfico N° 31: Depósitos antrópicos sobre el acantilado



Fuente: Equipo técnico

2.5.3. Basamento Rocoso-extremo meridional de la Costa Verde

En el extremo sur de la franja evaluada, donde el abanico aluvial se acuña contra los relieves estructurales del Grupo Morro Solar, se identifican unidades del basamento rocoso de edad Cretácico Inferior, que, si bien no afloran de forma extensa en el frente de acantilado propiamente dicho, condicionan el límite estructural meridional de toda la unidad geomorfológica de bahía descrita en el Ítem 1 y constituyen el marco litoestratigráfico de referencia regional:

- **Formación Salto del Fraile (Ki-sf3):** areniscas cuarzosas gris verdosas, bioturbadas, con intercalaciones de limolitas arenosas; estructuralmente afectada por fracturas y pliegues.
- **Formación Herradura (Ki-h3):** limoarcillitas gris oscuras con capas intercaladas de areniscas y calizas grises hacia el tope; estructuralmente afectada por fallas normales e inversas. Constituye igualmente un acuitardo sedimentario (ATS-her), con permeabilidades diferenciadas por litología.
- **Unidades intrusivas del Batolito de la Costa** (Súper Unidad Patap-gabrodiorita, Súper Unidad Santa Rosa, granodiorita, diorita, tonalita-diorita, monzogranito y adamelita, y cuerpos menores de monzonita-granodiorita, K-mgr, y subvolcánicos andesíticos, Ks-pand): se presentan hacia el margen continental más interno, fracturadas y localmente meteorizadas.

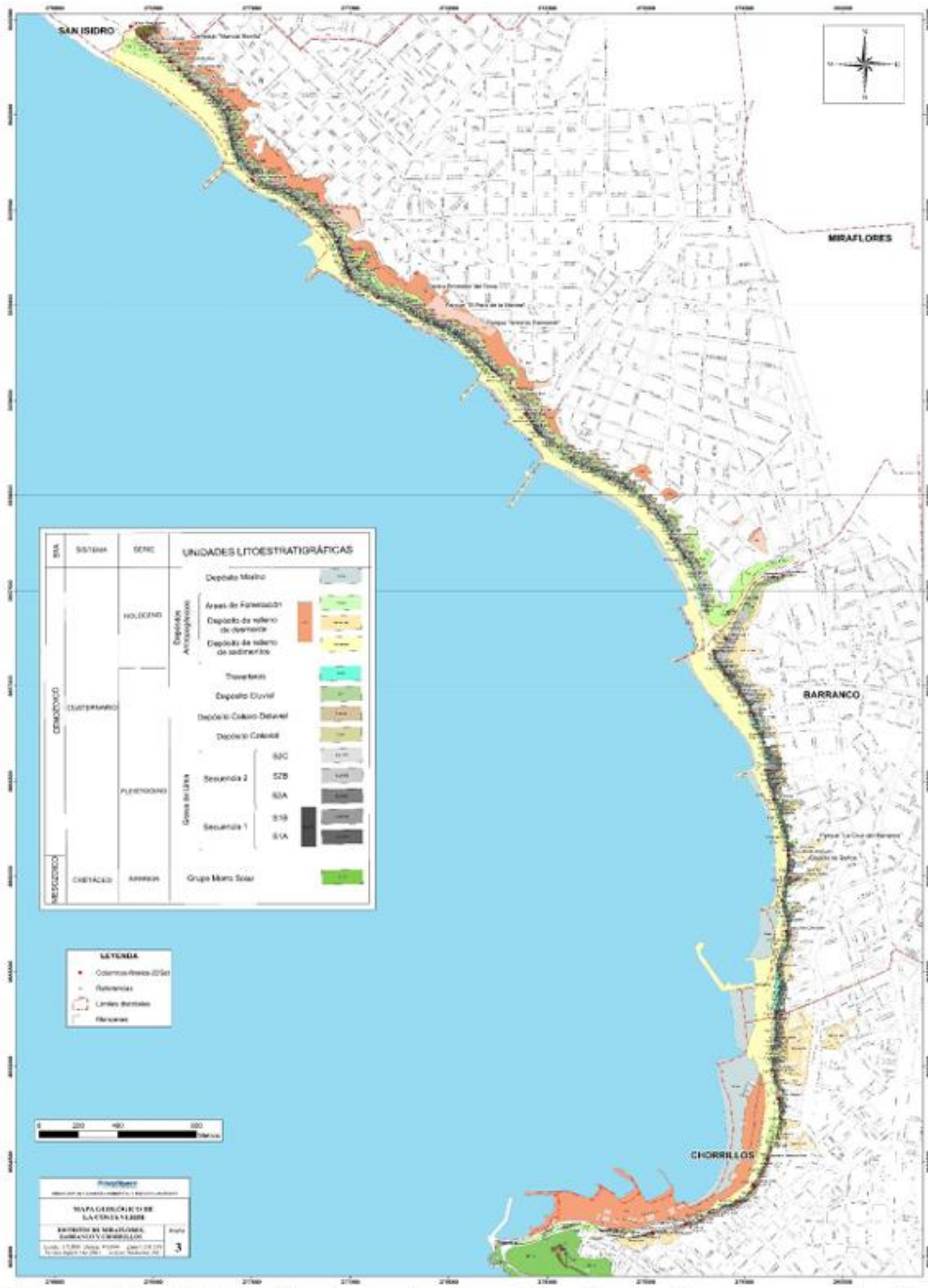
Gráfico N° 32: Basamento Rocoso





Fuente: Equipo técnico

Figura N° 3: Unidades geológicas



Fuente: Ingemmet, 2023

2.6. Análisis Geofísico.

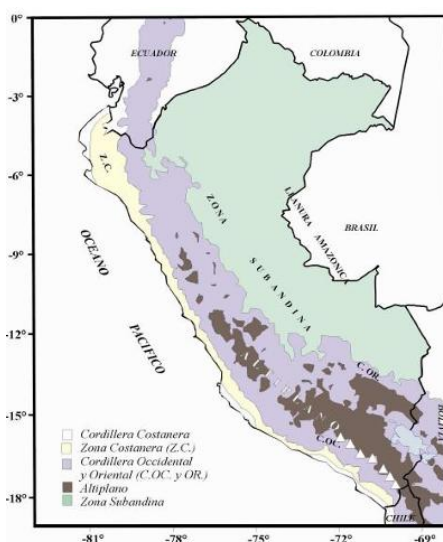
El Instituto Geofísico del Perú (IGP) encargó a la consultora ZER Geosystem Perú S.A.C. el desarrollo del “Estudio del peligro sísmico en la zona de acantilados de la Costa Verde – Lima”, cuyo objetivo principal es definir los parámetros de diseño sismorresistente del área de estudio, con base en estándares normativos nacionales e internacionales.

El alcance del estudio comprendió: la revisión de la información tectónica disponible, el análisis de la sismicidad histórica, la caracterización de las fuentes sismogénicas, el análisis probabilístico del movimiento sísmico del suelo, la determinación de espectros de peligro uniforme para roca (Suelo Tipo B) en periodos de retorno de 475, 1000 y 2475 años, y la generación de mapas de isoaceleraciones y de fuentes sismogénicas dentro de un radio de 500 km desde la zona del proyecto.

2.6.1. Contexto geomorfológico general del litoral

El área de estudio se ubica íntegramente dentro de la denominada Zona I: Franja Costera, una de las tres grandes unidades geomorfológicas en que se divide el territorio peruano (Zona I costera, Zona II cordillerana-altiplánica y Zona III subandina), según la zonificación de Tavera y Buforn (1998), Tavera (1999) y Bernal y Tavera (2002).

Gráfico N° 33: Principales unidades geomorfológicas del Perú



Fuente: IGP, 2021 (tomado de Dalmayrac et al, 1982; Tavera y Buforn, 1998)

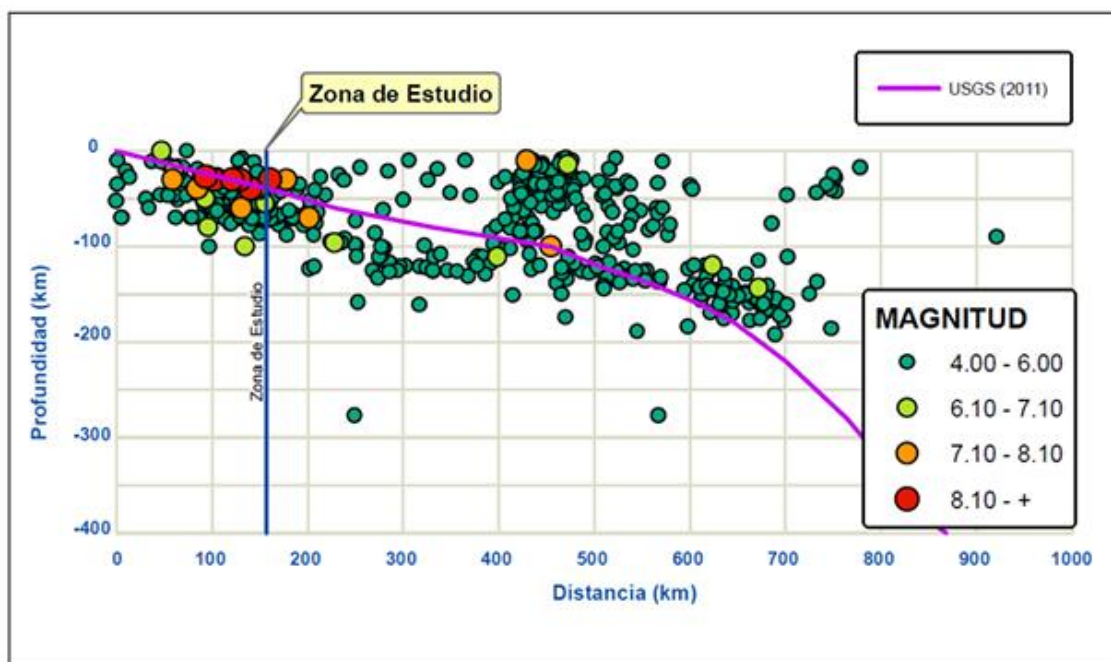
Esta franja está limitada por el litoral al oeste y por el Batolito Costanero al este, con un ancho de 40 a 50 km, conformada mayormente por basamento fuertemente plegado. Sus laderas son suaves y el suelo y subsuelo predominante corresponde a sedimentos cuaternarios de limos, arenas y arcillas que cubren formaciones rocosas principalmente volcánicas, además de extensas terrazas de gravas y gravas arenosas sueltas y saturadas. El informe señala que, en este tipo de terreno, y en especial en lechos de río, puede presentarse el fenómeno de licuación tanto en arenas como en gravas (Martínez, 1996), así como asentamientos con deformaciones superficiales significativos asociados a eventos extraordinarios de lluvia (Fenómeno El Niño/La Niña) y a la migración de arenas eólicas propia de la aridez costera.

Es importante precisar que esta caracterización geomorfológica es de carácter regional (aplicable a toda la Zona I costera del Perú) y no constituye, en el documento, una diferenciación geotécnica distrito por distrito de la Costa Verde.

2.6.2. Marco sismotectónico del área de estudio

El peligro sísmico del litoral analizado está gobernado por la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa Sudamericana, cuyo límite se sitúa en la fosa Perú–Chile, aproximadamente a 225 km al oeste de la costa peruana. Específicamente frente a la zona de estudio, la subducción superficial presenta un ángulo aproximado de 15° en la zona de interfase hasta una profundidad promedio de 80 km; posteriormente, la placa adopta un tramo subhorizontal entre 200 y 350 km desde la fosa, para luego descender hasta los 700 km de profundidad.

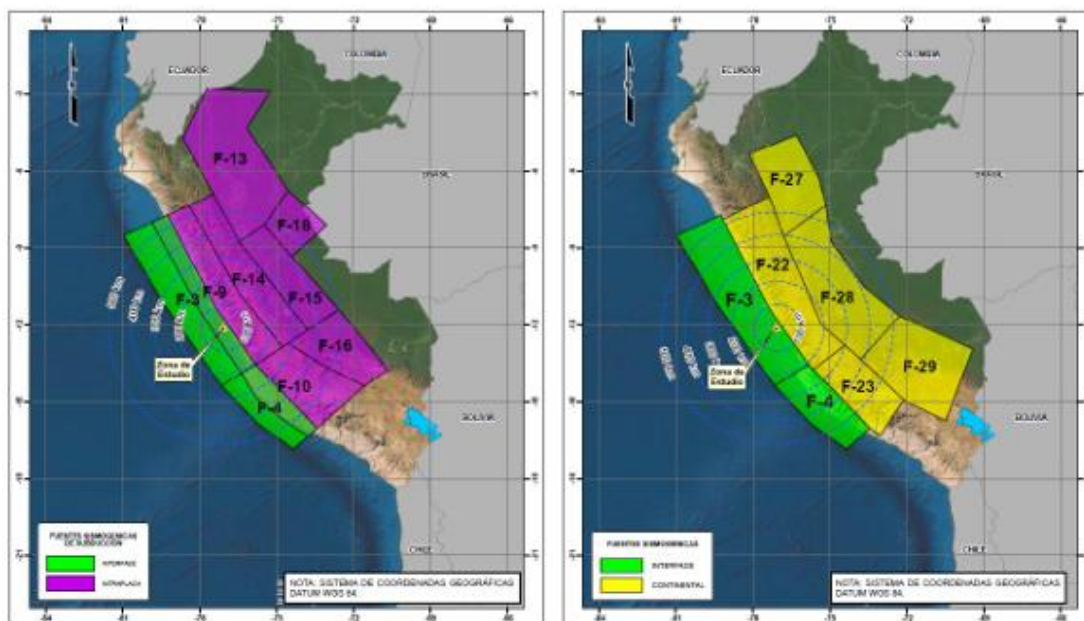
Gráfico N° 34: Proceso de subducción en la zona de estudio



Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

El modelo sismotectónico empleado, propuesto por Aguilar et al. (2017) dentro de un radio de 500 km desde la zona de estudio, considera 14 fuentes sismogénicas: 2 de subducción de interfase (F-3 y F-4), 2 de subducción intraplaca intermedia (F-9 y F-10), 5 de subducción intraplaca profunda (F-13, F-14, F-15, F-16 y F-18) y 5 fuentes corticales de fondo (F-22, F-23, F-27, F-28 y F-29), estas últimas incorporadas para representar posibles fallas geológicas no identificadas.

Gráfico N° 35: Fuentes sismogénicas influyentes en la zona de estudio

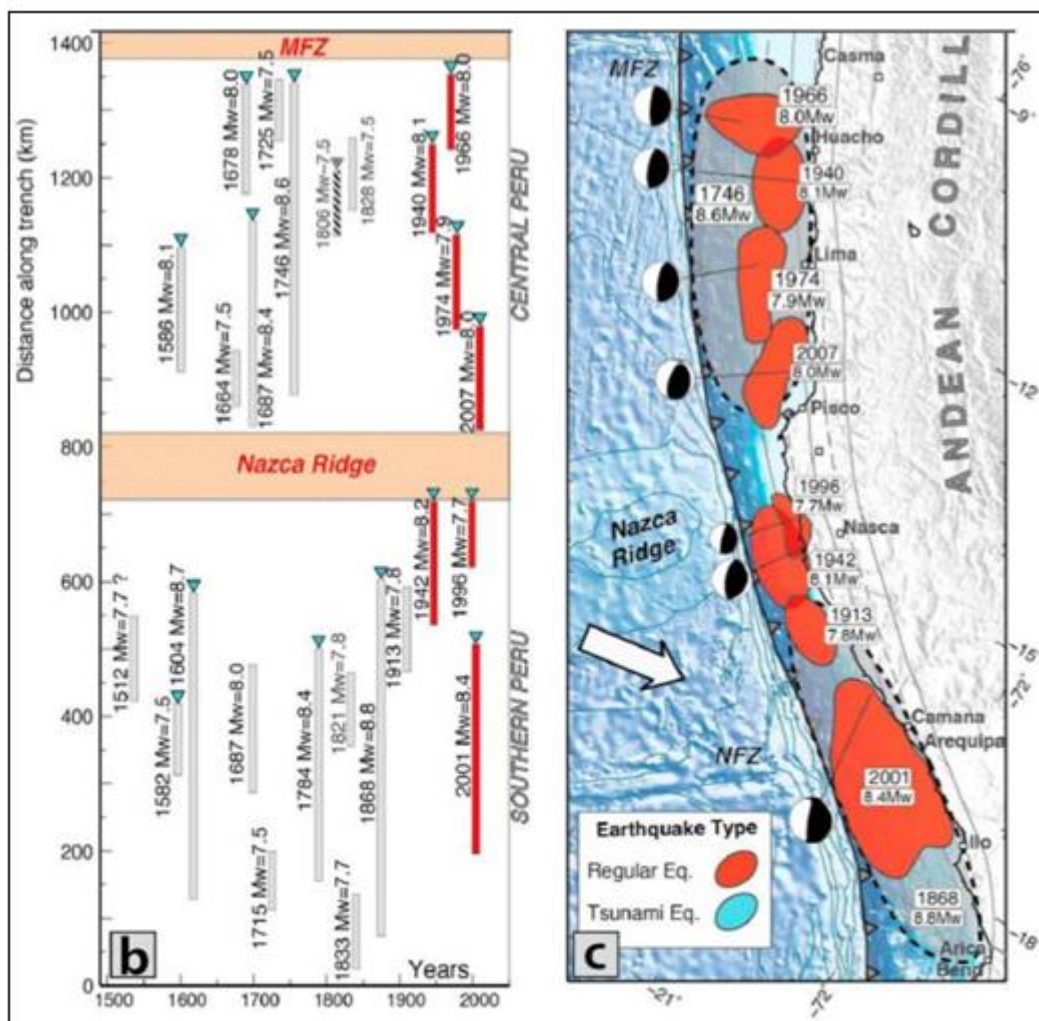


Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

2.6.3. Sismicidad histórica e integridad del catálogo sísmico

La historia sísmica de la región, recopilada por Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992) desde el año 1513, registra sismos de interfase significativos en el segmento central del Perú, entre ellos los eventos de 1586, 1664, 1678, 1687, 1746, 1940, 1942 y el más reciente, del 15 de agosto de 2007 (Mw 7.9). El intervalo entre los grandes sismos históricos de interfase (p. ej., 1687 a 1746) es de alrededor de 60 años, aunque han transcurrido más de 260 años desde el evento de 1746, el más grande documentado en este segmento.

Gráfico N° 36: Sismicidad histórica e integridad del catálogo sísmico



Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

Gráfico N° 37: Sismos significativo en el ámbito de estudio

Año	M ⁽¹⁾	Estilo	Profundidad (km) ⁽²⁾	Longitud de Ruptura Mínima (km) ⁽³⁾	Referencias
Sismos de Interfase en la Zona de Subducción					
Segmento Central					
1586	8.1-8.5	Inverso (Thrust)	60	175	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1664	7.5-7.8	Inverso (Thrust)	15	75	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1678	7.7-8.0	Inverso (Thrust)	40	100-150	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1985
1687	8.4-9.0	Inverso (Thrust)	30	300	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; NGDC; Silgado 1985
1746	8.6-8.8	Inverso (Thrust)	30	350	Beck y Nishenko 1990; Dorbath <i>et al.</i> 1990; Silgado 1986
1940	8.1-8.2	Inverso (Thrust)	60	180	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1942	8.2	Inverso (Thrust)	60	200	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1966	8.1	Inverso (Thrust)	38	100	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977
1974	8.1	Inverso (Thrust)	9-22	140	Dorbath <i>et al.</i> 1990; Kanamori 1977; Langer y Spence 1995
1996	7.7-7.9	Inverso (Thrust)	33	<200	Chatelein <i>et al.</i> 1997
Sismos de Intraplaca en la Zona de Subducción					
1970	7.8-8.0	Normal	43-64	130	Abe 1972; Kanamori 1977; Lomnitz 1971; Silgado 1985
1994	8.2	Inverso (Reverse)	631	90	Jimenez 2014

(¹) Los estimados de magnitud derivan de diversas escalas de magnitud que incluyen la magnitud de onda superficial (Ms) y la magnitud de momento (Mw). En algunos casos, la Mw fue estimada a partir de la liberación del momento sísmico al comparar las alturas del recorrido del tsunami (Beck y Nishenko, 1990).

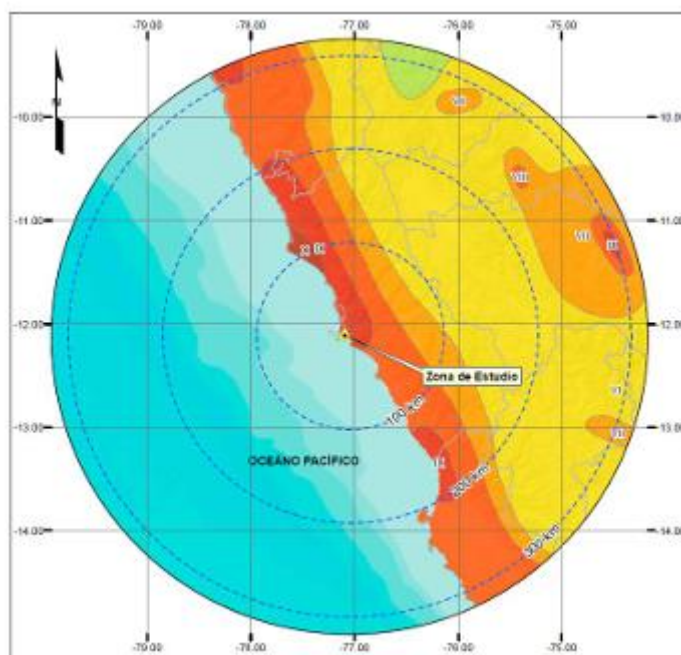
(²) Profundidades focales estimadas a partir de la base de datos de sismicidad histórica del Centro Geodésicos. En lugar de utilizar datos de solución de planos de falla, se empleó profundidades focales para inferir los mecanismos de fuentes de sismos históricos que se produjeron previamente a los inicios del Siglo XX cuando se recopiló datos instrumentales de sismicidad en primer lugar.

(³) Longitud de ruptura mínima basada en la intensidad de las vibraciones documentadas para sismos históricos (Dorbath *et al.* 1990). Los estimados de la longitud de ruptura para los eventos de interfase e intraplaca se basaron en el momento sísmico.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

Según esta información histórica, en los últimos 400 años se han registrado en la región intensidades sísmicas de hasta X (MMI) dentro de los primeros 100 km alrededor de la zona del proyecto.

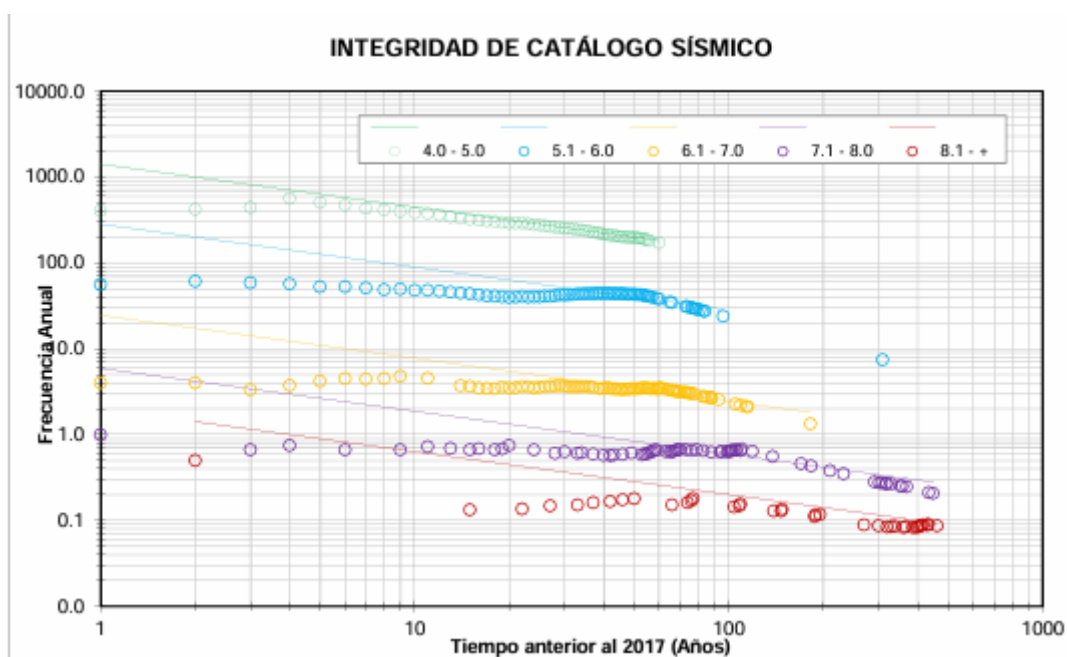
Gráfico N° 38: Máximas intensidades sísmicas observadas en la zona de estudio



Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

El catálogo sísmico utilizado, elaborado y actualizado por el IGP y complementado con los catálogos NEIC, ISC, USGS, NOAA y Global CMT hasta enero de 2020, fue evaluado mediante el método de Stepp (1972), determinándose que es completo desde 1964 para $M < 5.0$, desde 1954 para $5.1 \leq M < 6.0$, desde 1906 para $6.1 \leq M < 7.0$ y desde 1555 para $M \geq 8.1$.

Gráfico N° 39: Sismicidad histórica e integridad del catálogo sísmico



2.6.4. Metodología del análisis probabilístico y coeficiente sísmico para taludes

Los movimientos sísmicos del suelo fueron calculados mediante el método de Peligro Sísmico Probabilístico (PSHA), obteniendo la Aceleración Pico del Terreno (PGA) y la Respuesta de Aceleración Espectral (S_a) al 5 % de amortiguamiento, para tres periodos de retorno (475, 1000 y 2475 años) y para un Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s) según ASCE 7-16, utilizando el software R-Crisis v20.1.0 (Ordaz, 2015). Las ecuaciones de predicción del movimiento (GMPE) empleadas para eventos de subducción fueron BC Hydro (2016), Zhao et al. (2006) y Youngs et al. (1997); para eventos corticales se emplearon Boore et al. (2014), Chiou & Youngs (2014), Abrahamson & Silva (2014) y Bozorgnia & Campbell (2014), ponderadas mediante árbol lógico de decisión.

Adicionalmente, dado que el Perú no cuenta con normativa específica para coeficientes pseudo-estáticos de estabilidad de taludes, de particular relevancia para los acantilados de la Costa Verde, el informe expone criterios reconocidos: Hynes y Franklin (1984), que sugieren un coeficiente sísmico horizontal equivalente al 50 % del PGA de diseño ($k = 0.50 \cdot \text{PGA}/g$); Saragoni (1993), que propone una relación no lineal en función del PGA; y el enfoque basado en desplazamientos permanentes de Bray & Travarasrou (2009) y Bray, Macedo y Travarasrou (2017-2018), que incorpora el periodo degradado de vibración de la estructura de tierra, el coeficiente sísmico de fluencia y el desplazamiento máximo tolerable.

2.6.5. Análisis Geofísico y Peligro Sísmico por Distrito

El informe reporta resultados cuantitativos de peligro sísmico probabilístico de forma independiente para seis puntos de control, uno por cada distrito litoral comprendido entre San Miguel y Chorrillos. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada distrito, junto con la lectura comparativa que permite el propio documento y la identificación explícita de la información geotécnica distrital que el informe no desarrolla.

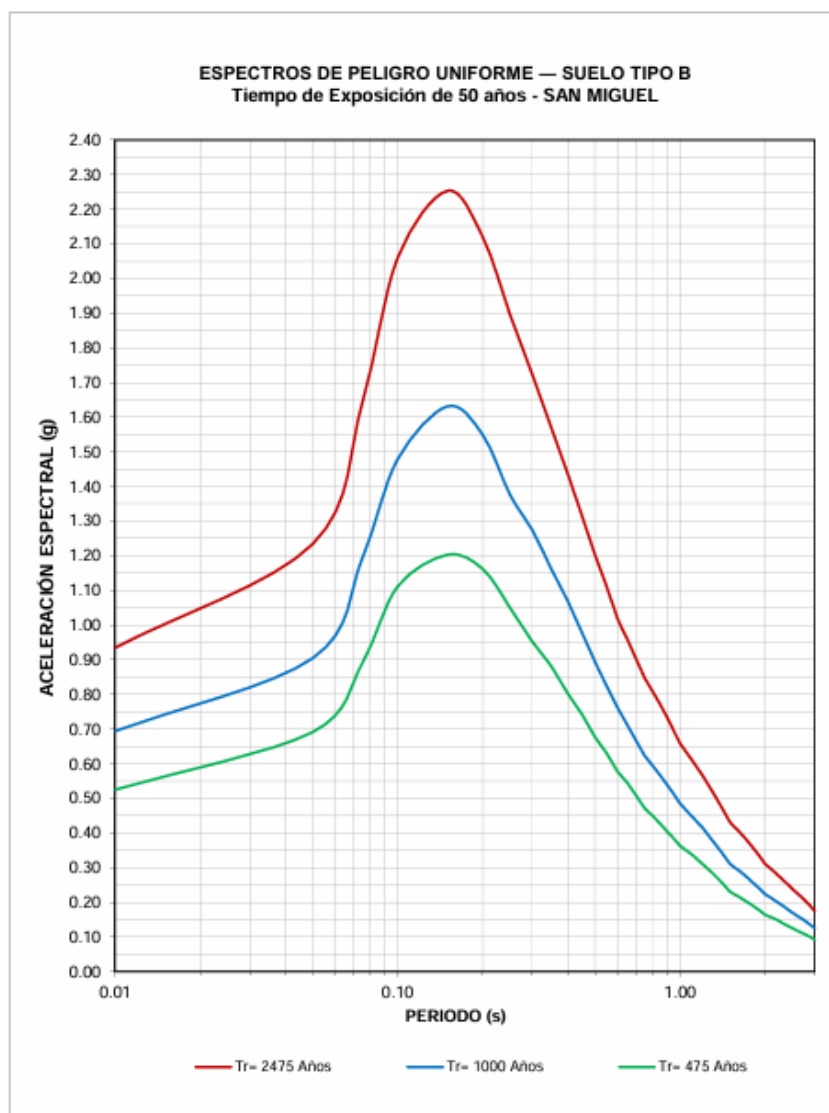
- **San Miguel (Punto de control P2)**

Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $\text{PGA} = 0.525$ g, $S_a(0.20s) = 1.162$ g y $S_a(1.00s) = 0.363$ g; para 1000 años, $\text{PGA} = 0.694$ g, $S_a(0.20s) = 1.549$ g y $S_a(1.00s) = 0.485$ g; y para 2475 años, $\text{PGA} = 0.935$ g, $S_a(0.20s) = 2.120$ g y $S_a(1.00s) = 0.659$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: registra, de manera consistente, los valores más altos de PGA y de aceleración espectral entre los 6 puntos de control (p. ej. $\text{PGA}=0.935$ g para $T_r=2475$ años, el máximo del estudio), aunque la diferencia frente al distrito de menor valor (Miraflores/Barranco) es marginal, del orden de 0.5-0.6 % en PGA.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición (Conclusiones, p. 79) — condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación).

Gráfico N° 40: San Miguel (Punto de control P1)



Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

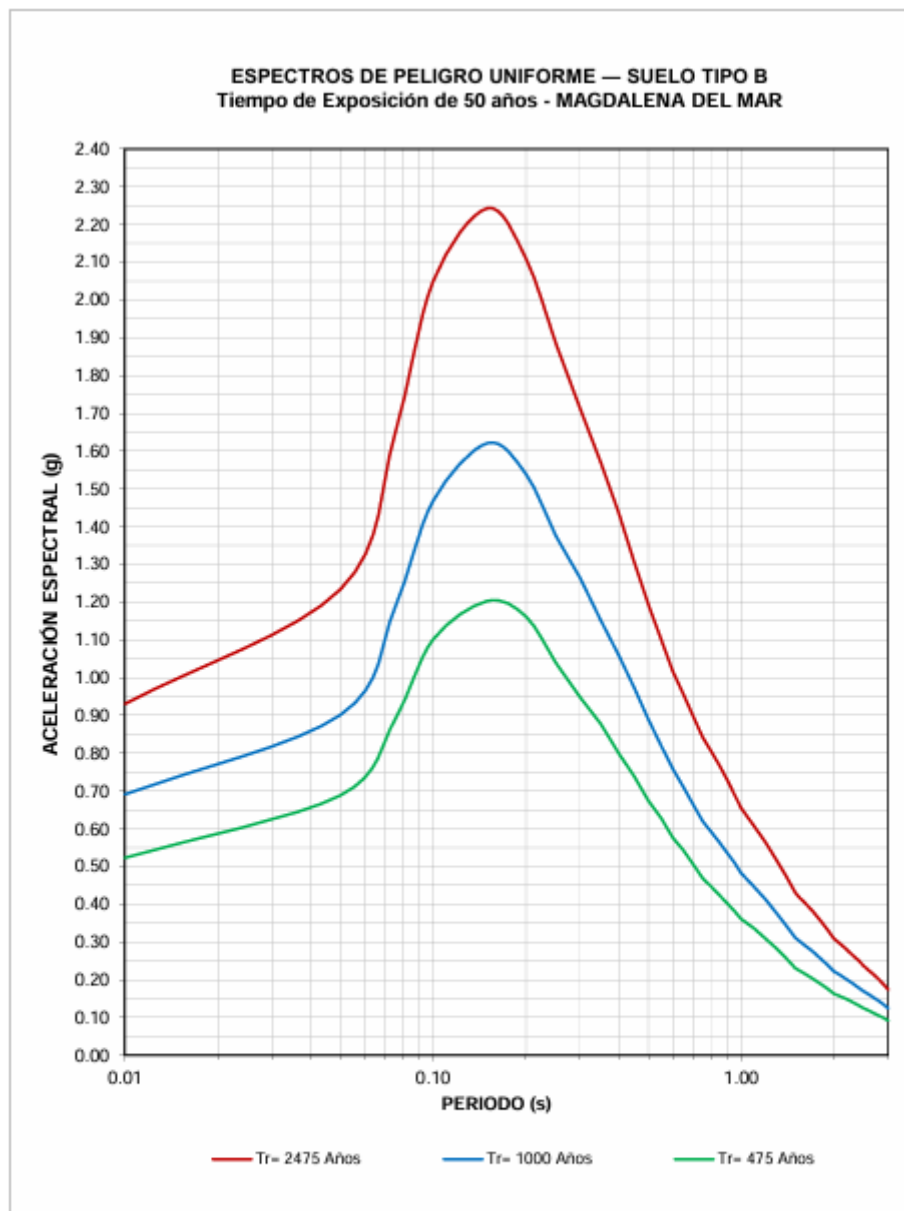
- **Magdalena del Mar (Punto de control P2)**

Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $PGA = 0.523$ g, $Sa(0.20s) = 1.162$ g y $Sa(1.00s) = 0.361$ g; para 1000 años, $PGA = 0.691$ g, $Sa(0.20s) = 1.539$ g y $Sa(1.00s) = 0.482$ g; y para 2475 años, $PGA = 0.931$ g, $Sa(0.20s) = 2.110$ g y $Sa(1.00s) = 0.654$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: presenta valores muy próximos a los de San Miguel, con una diferencia inferior al 0.5 % en PGA para todos los periodos de retorno evaluados, reflejo de su cercanía geográfica dentro del segmento norte del área de estudio.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición, condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación;

Gráfico N° 41: Magdalena del Mar (Punto de control P2)



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ($V_s \geq 760$ m/s)
- Los periodos de retorno se consideran con un tiempo de exposición de 50 años.
- Los espectros están ponderados según los pesos asignados en el acápite 7.2.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

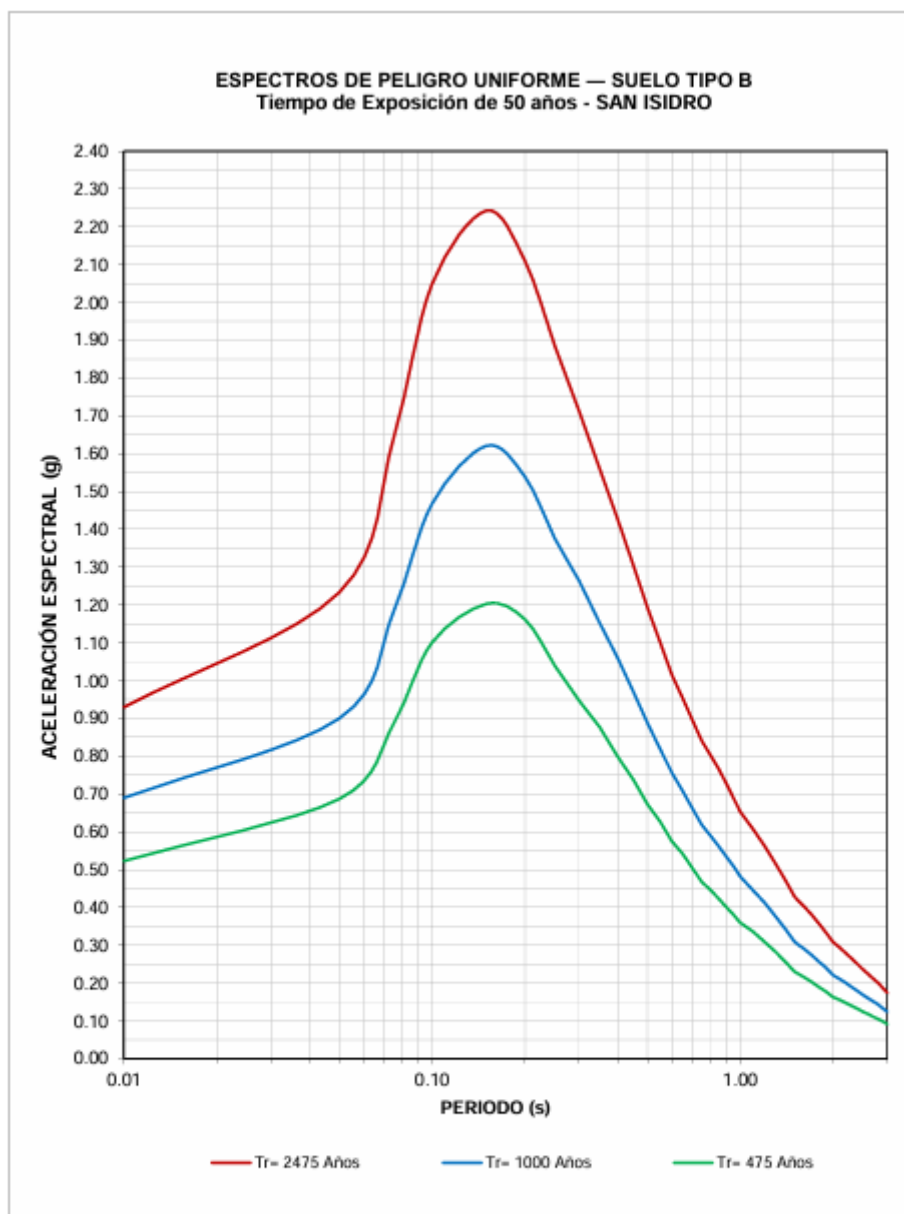
- **San Isidro (Punto de control P3)**

Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $PGA = 0.523$ g, $Sa(0.20s) = 1.162$ g y $Sa(1.00s) = 0.360$ g; para 1000 años, $PGA = 0.690$ g, $Sa(0.20s) = 1.539$ g y $Sa(1.00s) = 0.482$ g; y para 2475 años, $PGA = 0.930$ g, $Sa(0.20s) = 2.110$ g y $Sa(1.00s) = 0.653$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: se ubica en un nivel intermedio de peligro sísmico, prácticamente equivalente al de Magdalena del Mar, consistente con la baja variabilidad espacial del modelo a lo largo del litoral.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición (Conclusiones, p. 79) — condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación;

Gráfico N° 42: Elemento gráfico referencial de San Isidro (Punto de control P3)



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ($V_s \geq 760$ m/s)
- Los periodos de retorno se consideran con un tiempo de exposición de 50 años.
- Los espectros están ponderados según los pesos asignados en el acápite 7.2.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

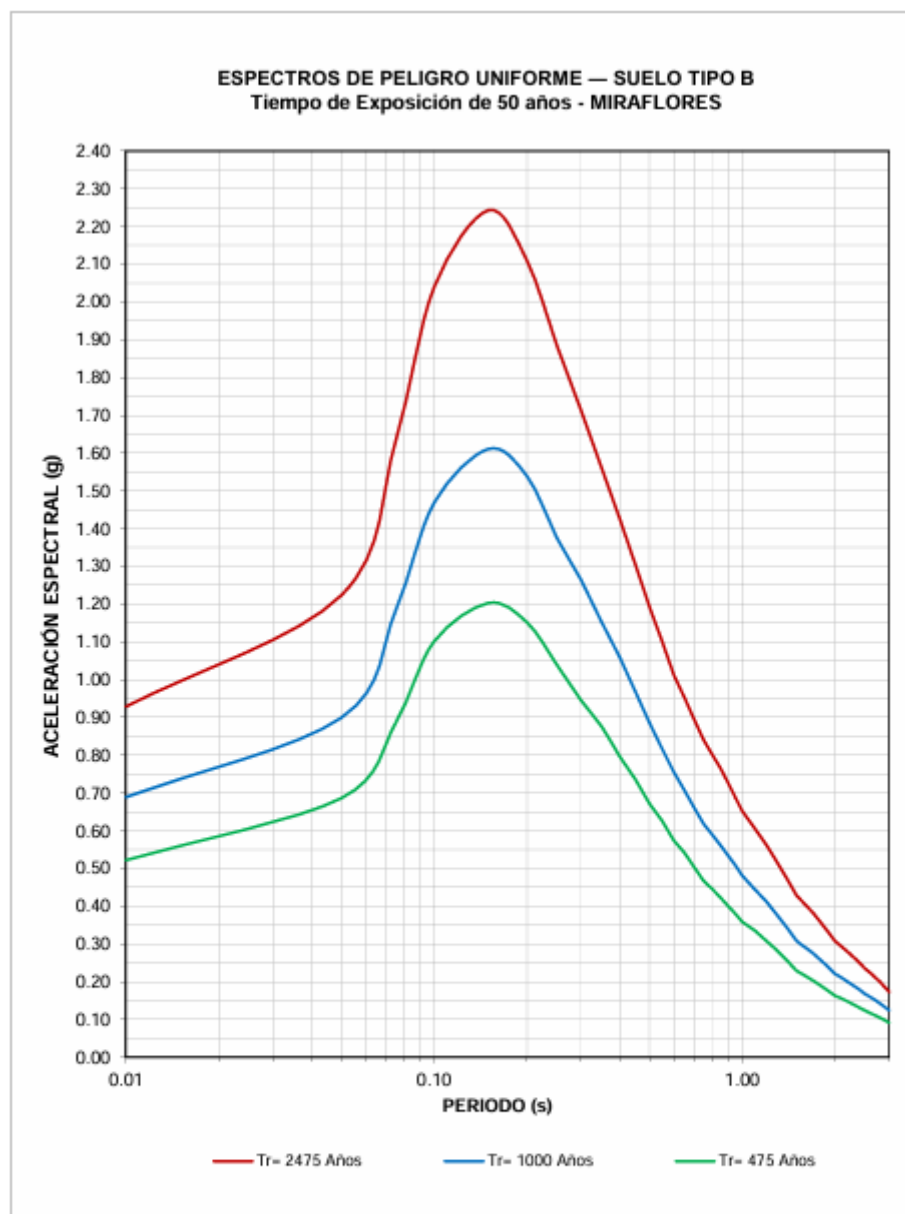
• **Miraflores (Punto de control P4)**

Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $PGA = 0.522$ g, $S_a(0.20s) = 1.152$ g y $S_a(1.00s) = 0.359$ g; para 1000 años, $PGA = 0.689$ g, $S_a(0.20s) = 1.539$ g y $S_a(1.00s) = 0.481$ g; y para 2475 años, $PGA = 0.929$ g, $S_a(0.20s) = 2.110$ g y $S_a(1.00s) = 0.652$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: junto con Barranco, registra los valores más bajos de PGA y $S_a(0.20s)$ del estudio, aunque la diferencia frente al valor máximo (San Miguel) es de apenas ~0.6 % en PGA para $T_r=2475$ años.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición (Conclusiones, p. 79) — condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación).

Gráfico N° 43: Elemento gráfico referencial de Miraflores (Punto de control P4)



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ($V_s \geq 760$ m/s)
- Los periodos de retorno se consideran con un tiempo de exposición de 50 años.
- Los espectros están ponderados según los pesos asignados en el acápite 7.2.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

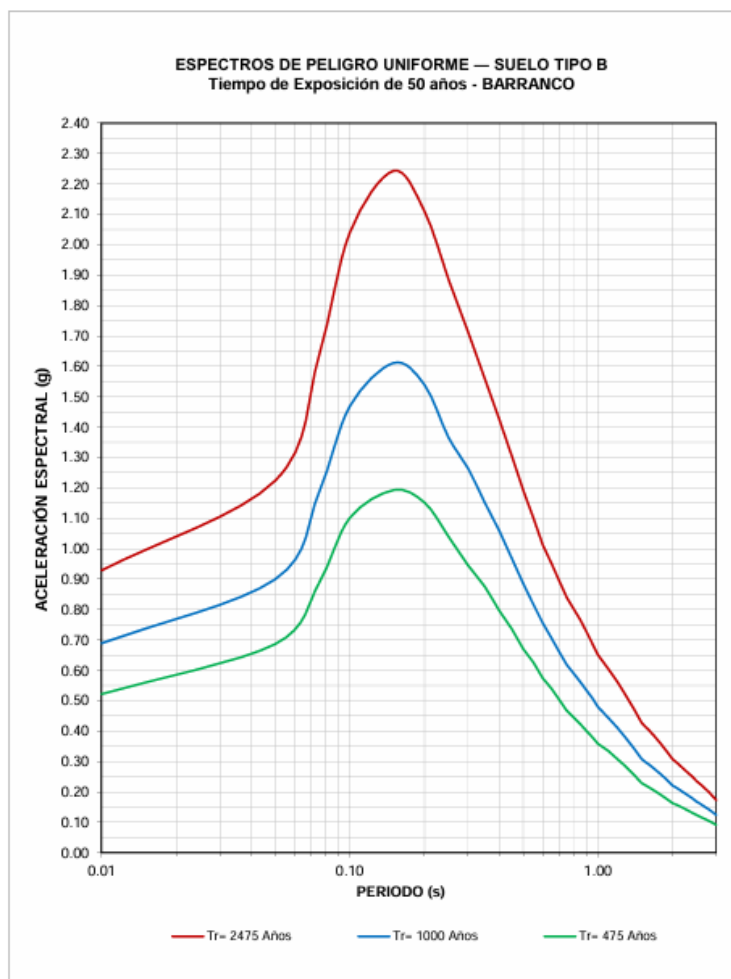
- **Barranco (Punto de control P5)**

Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $PGA = 0.522$ g, $S_a(0.20s) = 1.152$ g y $S_a(1.00s) = 0.359$ g; para 1000 años, $PGA = 0.689$ g, $S_a(0.20s) = 1.539$ g y $S_a(1.00s) = 0.480$ g; y para 2475 años, $PGA = 0.929$ g, $S_a(0.20s) = 2.110$ g y $S_a(1.00s) = 0.651$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: presenta valores prácticamente idénticos a los de Miraflores, constituyendo junto con este el punto de menor peligro sísmico relativo dentro de los 6 distritos evaluados.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición (Conclusiones, p. 79) — condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación).

Gráfico N° 44: Elemento gráfico referencial de Barranco (Punto de control P5)



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ($V_s \geq 760$ m/s)
- Los periodos de retorno se consideran con un tiempo de exposición de 50 años.
- Los espectros están ponderados según los pesos asignados en el acápite 7.2.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

● **Chorrillos (Punto de control P6)**

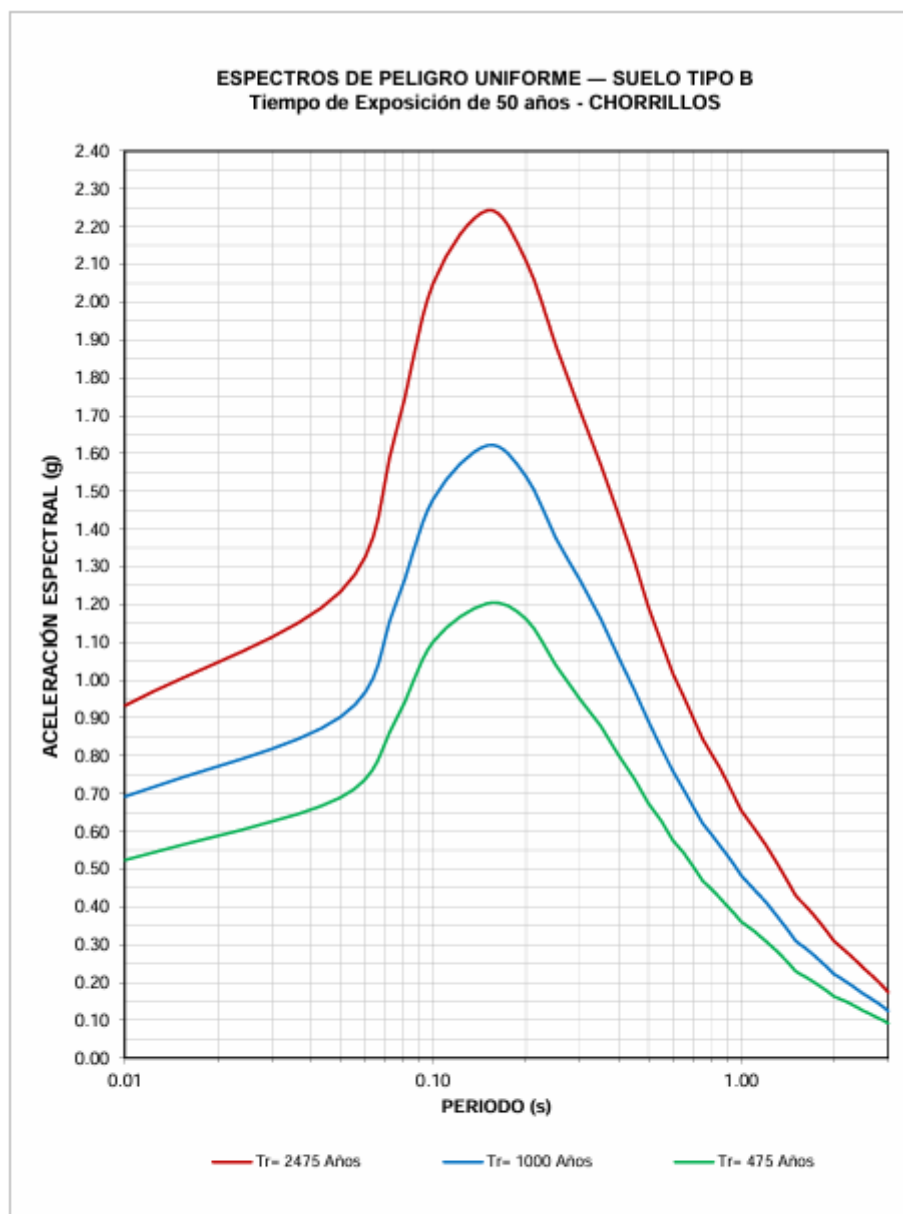
Resultados del Peligro Sísmico Probabilístico – Suelo Tipo B ($V_{s30} > 760$ m/s), $\xi=5\%$: para el periodo de retorno de 475 años, $PGA = 0.524$ g, $S_a(0.20s) = 1.162$ g y $S_a(1.00s) = 0.361$ g; para 1000 años, $PGA = 0.692$ g, $S_a(0.20s) = 1.539$ g y $S_a(1.00s) = 0.483$ g; y para 2475 años, $PGA = 0.933$ g, $S_a(0.20s) = 2.110$ g y $S_a(1.00s) = 0.655$ g (Cuadro 7.4, p. 75; Figuras 7.1 y 7.2, p. 76).

Comportamiento relativo dentro del litoral: en el extremo sur del área de estudio, vuelve a mostrar un ligero incremento respecto a Miraflores/Barranco, ubicándose en un nivel cercano al de Magdalena del Mar y San Isidro.

Microzonificación, amplificación de suelo y peligros específicos de acantilado: el documento no reporta, para este distrito, una microzonificación sísmica ni factores de amplificación de suelo diferenciados, ni una evaluación distrital de susceptibilidad a desprendimiento de rocas, colapso de talud o licuación. El propio informe aclara que los valores anteriores corresponden a roca (Suelo Tipo B) y “no reflejan la amplificación

local del suelo”, recomendando un análisis de respuesta de sitio donde el terreno de fundación difiera de dicha condición (Conclusiones, p. 79) — condición que es previsible en los taludes y rellenos de los acantilados de este tramo, conforme a la caracterización general de la Zona I (Franja Costera) descrita en la Sección 2.1 del informe (suelos cuaternarios de limos, arenas, arcillas y gravas sueltas saturadas, con posible licuación;

Gráfico N° 45: Elemento gráfico referencial de Chorrillos (Punto de control P6)



Nota:

- Valores de aceleración espectral en suelo Tipo B ($V_s \geq 760$ m/s)
- Los periodos de retorno se consideran con un tiempo de exposición de 50 años.
- Los espectros están ponderados según los pesos asignados en el acápite 7.2.

Fuente: Informe Técnico N.º 017-2021, IGP.

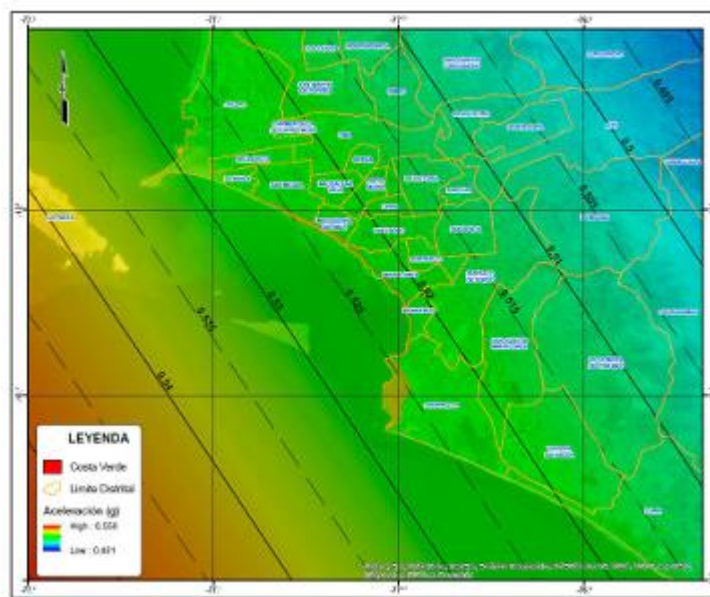
2.6.6. Cuadro comparativo de resultados PSHA por distrito

El siguiente cuadro reproduce, de forma consolidada, el Cuadro 7.4 del informe (Resumen de aceleraciones con $\xi=5\%$ obtenido del PSHA, Suelo Tipo B, $V_{s30}>760$ m/s), para los tres periodos de retorno evaluados y los seis periodos espectrales calculados:

Tabla N° 19: Datos de Cuadro comparativo de resultados PSHA por distrito

Distrito	Tr (años)	PGA (g)	Sa 0.20s (g)	Sa 1.00s (g)	Sa 1.50s (g)	Sa 2.00s (g)	Sa 3.00s (g)
San Miguel	475	0.525	1.162	0.363	0.231	0.164	0.092
	1000	0.694	1.549	0.485	0.312	0.223	0.125
	2475	0.935	2.120	0.659	0.432	0.311	0.175
Magdalena del Mar	475	0.523	1.162	0.361	0.230	0.163	0.092
	1000	0.691	1.539	0.482	0.311	0.222	0.124
	2475	0.931	2.110	0.654	0.430	0.309	0.174
San Isidro	475	0.523	1.162	0.360	0.230	0.163	0.092
	1000	0.690	1.539	0.482	0.310	0.221	0.124
	2475	0.930	2.110	0.653	0.429	0.309	0.174
Miraflores	475	0.522	1.152	0.359	0.229	0.163	0.091
	1000	0.689	1.539	0.481	0.309	0.221	0.124
	2475	0.929	2.110	0.652	0.429	0.308	0.173
Barranco	475	0.522	1.152	0.359	0.229	0.163	0.091
	1000	0.689	1.539	0.480	0.309	0.221	0.124
	2475	0.929	2.110	0.651	0.428	0.308	0.173
Chorrillos	475	0.524	1.162	0.361	0.230	0.163	0.092
	1000	0.692	1.539	0.483	0.311	0.222	0.124
	2475	0.933	2.110	0.655	0.431	0.310	0.174

Gráfico N° 46: Mapa de isoaceleraciones para un $T_r=475$ años, $T=0.00s$, Suelo tipo B.



peligro sísmico elevado y prácticamente homogéneo a nivel de roca: PGA de 0.522 g a 0.525 g para un sismo de 475 años de periodo de retorno, y de hasta 0.929 g a 0.935 g para el sismo máximo considerado (2475 años).

Esta homogeneidad territorial responde a que el peligro está gobernado por fuentes sismogénicas regionales de subducción (interfase e intraplaca) comunes a todo el segmento central del litoral limeño, y no por condiciones locales diferenciadas entre distritos.

2.7. Topografía

Para el análisis de la topografía, se realiza un análisis geomorfológico detallado de los perfiles topográficos levantados a lo largo de la franja costera de la Costa Verde. El análisis de perfiles topográficos abarca un tramo que se extiende desde el distrito de San Miguel, en el sector norte, hasta el distrito de Chorrillos, en el extremo sur, cubriendo así una diversidad de ambientes geomorfológicos que van desde acantilados de baja altura hasta escarpes desarrollados.

Los perfiles topográficos analizados corresponden a cortes longitudinales y transversales que capturan la transición altitudinal entre la planicie urbana (parte alta) y la franja litoral (parte baja), incluyendo la plataforma de rompiente y el área de playa. Cada perfil ha sido procesado a partir de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de alta resolución, permitiendo caracterizar con precisión los segmentos de pendiente, las terrazas geomorfológicas, los cambios de gradiente y las formas del relieve asociadas a procesos erosivos, deposicionales y tectónicos.

A continuación, se profundiza en las particularidades morfométricas y topográficas por distrito:

a) Distrito de San Miguel

El distrito de San Miguel, registra el comportamiento topográfico más regular y atenuado del corredor litoral. Con cotas entre 36 y 61 m y pendientes moderadas (7 % a 12 %), su principal particularidad radica en el desarrollo de una extensa plataforma basal o terraza (entre 6 y 13 m s. n. m.) que atenúa la energía del frente costero. Asimismo, el perfil Escardó 01 constituye una singularidad metodológica dentro del inventario, al haber sido levantado en sentido inverso (playa a cima), aspecto crítico para evitar sesgos de dirección en la modelación o parametrización comparativa del talud.

b) Distrito de San isidro

Muestra una marcada homogeneidad litológica con pendientes controladas en el rango de 13 % a 14 %. Su particularidad arquitectónica reside en su morfología escalonada de transición, caracterizada por la presencia de dos niveles bien definidos de rellanos intermedios (a 48–50 m y 7–9 m en Salaverry; a 35–38 m y 15–17 m en San Martín) que quiebran la energía del talud entre la meseta superior (65–68 m) y la plataforma basal.

c) Distrito de Miraflores

Caracterizado por un frente de escarpe de alta energía con caídas prácticamente continuas entre los 28 y 72 m de altitud. Destaca por albergar la pendiente media más elevada de la muestra en Pardo 01 ($\approx 26\%$). Dentro de este bloque rígido destacan dos anomalías del terreno: Balta 02, cuya discontinuidad mediante rellanos intermedios sugiere la presencia de antiguas bermas de estabilización o planos de falla menores, y Balta 04, el cual no constituye un talud de frente marino, sino la sección transversal cóncava de una bajada o quebrada vehicular.

d) Distrito de Barranco

Muestra un perfil de acantilado fuertemente expuesto y sujeto a la erosión basal. Sus tres perfiles en Bajada de Baños (pendientes del 19 % al 21 %) registran la particularidad geomorfológica de descender levemente por debajo del nivel 0 m en el extremo final del trazo, lo que demuestra la interacción directa de la base del talud con la zona de rompiente y batida de olas. Al igual que en Miraflores, este distrito alberga en Armendáriz 03 una sección transversal cóncava asociada al vaciado de la quebrada vehicular.

e) Distrito de Chorrillos

Presenta el mayor contraste morfológico y de severidad topográfica. La presencia de macizos rocosos genera amplitudes térmicas y de relieve que alcanzan los 89 m de cota y inclinaciones críticas de hasta 30 % en los sectores de La Herradura 01 y Club Regata 02. La particularidad más relevante desde la perspectiva de la estabilidad de laderas se evidencia en Defensores del Morro 02 y La Herradura 04, donde la presencia de montículos convexos refleja depósitos de coluvión activo al pie de talud, únicos testimonios geomorfológicos directos de procesos pasados de caída de detritos registrados en todo el litoral.

Tabla N° 33: Datos de Análisis de Perfiles Topográficos por Polo Estructurante y distrito

Distrito	N.º bloques	N.º perfiles	Cota (m)	Pendiente (%)	Longitud (m)	Rasgo morfológico dominante
San Miguel	3	12	36 – 61	7 – 12	385 – 725	Terrazas litorales amplias y taludes suaves
San Isidro	2	4	65 – 68	13 – 14	465 – 495	Morfología escalonada con bermas estructurales
Miraflores	3	8	28 – 72	7 – 26	260 – 395	Escarpes subverticales, mínimo desarrollo de rellanos
Barranco	2	6	28 – 68	7 – 23	285 – 395	Escarpes empinados en contacto con línea de rompiente
Chorrillos	3	10	29 – 89	9 – 30	300 – 480	Máxima dispersión; escarpes más altos y coluvión activo

La comparación entre los cinco distritos evidencia un gradiente morfológico de norte a sur a lo largo de la Costa Verde. San Miguel concentra los taludes más largos y de menor pendiente media (7 %–12 %), con amplias plataformas litorales. San Isidro presenta una morfología escalonada intermedia (13 %–14 %), con niveles de rellano bien definidos. En Miraflores y Barranco las pendientes se incrementan de forma notoria (7 %–26 %, con tramos subverticales concentrados en Balta, Pardo y Bajada de Baños), con escarpes altos y taludes de menor desarrollo horizontal. Chorrillos, finalmente, presenta la mayor dispersión de todo el inventario, con los escarpes más altos y pronunciados del conjunto (hasta 89 m y ≈30 % de pendiente) junto a sectores de altura moderada, y es el único distrito con evidencia geomorfológica directa de coluvión por caída de detritos previa.

Dos tipologías de perfil singular, no descendentes hacia el mar, se distribuyen en dos distritos distintos: los perfiles de sección cóncava correspondientes a quebradas o bajadas vehiculares, Armendáriz 03 (Barranco) y Balta 04 (Miraflores), relevantes para el diseño de manejo de escorrentía pluvial hacia el acantilado; y los perfiles con montículos convexos de acumulación coluvial, Defensores del Morro 02 y La

Herradura 04, ambos en Chorrillos, relevantes como evidencia de campo de procesos previos de caída de detritos.

2.8. Pendiente

El área de estudio se caracteriza por presentar una geomorfología dominada por la interfaz entre la plataforma marina y los acantilados litorales de la ciudad de Lima. La descripción de pendientes constituye un insumo fundamental para la planificación territorial, el diseño de infraestructura costera, la evaluación de riesgos geomorfológicos y la zonificación de usos en el borde costero.

La clasificación de pendientes adoptada en el presente estudio se basa la clasificación que realiza el INGEMMET, expresados en grados ($^{\circ}$), asociados a descriptores geomorfológicos que definen la condición del terreno. La leyenda de pendientes utilizada se estructura de la siguiente manera:

Tabla N° 34: Datos de Pendiente

Rango de Pendiente	Descripción Geomorfológica	Color
$0^{\circ} - 1^{\circ}$	Terreno llano	
$1^{\circ} - 5^{\circ}$	Terreno inclinado con pendiente suave	
$5^{\circ} - 15^{\circ}$	Pendiente moderada	
$15^{\circ} - 25^{\circ}$	Pendiente fuerte	
$25^{\circ} - 45^{\circ}$	Pendiente muy fuerte	
$> 45^{\circ}$	Terreno muy escarpado	

Fuente: INGEMMET

La metodología de análisis consistió en la delimitación del área de estudio sobre la base cartográfica del proyecto, la superposición de la capa de pendientes derivada del MDE y la identificación de patrones espaciales de distribución por distrito. Se realizó una inspección visual detallada de cada sector para determinar las condiciones predominantes y los sectores con presencia de pendientes críticas.

2.8.1. Análisis del área de estudio

El área de estudio presenta una clara variación geomorfológica entre la plataforma marina oceánica y la franja costera continental. El 75 % aproximado de la superficie del polígono proyectado sobre el mar corresponde a terreno llano ($0^{\circ} - 1^{\circ}$), representado por el color verde oscuro, lo cual es consistente con la morfología de la plataforma continental sumergida frente a la costa limeña, caracterizada por su baja pendiente y condición de fondo marino. En contraste, la franja litoral y los acantilados costeros exhiben una variabilidad significativa de pendientes.

Asimismo, se observa una banda longitudinal continua de colores que van desde el verde claro hasta el rojo, evidenciando la transición morfológica entre la plataforma marina llana y los escarpes costeros. Esta banda de transición se estrecha en los distritos del norte (San Miguel, Magdalena del Mar) y se ensancha progresivamente hacia el sur (Miraflores, Barranco, Chorrillos), donde los acantilados alcanzan mayores alturas y pendientes más pronunciadas.

Aunado a ello, se identifican estructuras antrópicas (rompeolas, muelles, espigones) que generan patrones de interferencia en la distribución natural de pendientes, manifestándose como anomalías lineales perpendiculares o paralelas a la línea de costa.

A partir de la reinterpretación de la información del estudio de pendientes y del mapa de clasificación de pendientes y escarpes litorales, el perfil transversal del borde costero puede segmentarse en tres

geoformas: la terraza superior urbana (plataforma alta), el escarpe litoral (acantilado) y la franja inferior de contacto con el mar (plataforma baja), que incluye la plataforma marina adyacente.

2.8.2. Análisis de pendientes a nivel de geoformas

2.8.2.1. Plataforma Alta (Terraza superior/borde urbano).

Esta geoforma se caracteriza por un predominio de terrenos llanos a inclinaciones muy suaves, representados en rangos de 0° a 5° (tonos verdes). Corresponde a la terraza continental sobre la cual se despliega la trama urbana, la infraestructura vial superior y las áreas públicas. Aunque en su interior es una superficie de baja pendiente geomorfológicamente estable, su importancia radica en el límite de contacto con el acantilado (la corona o cresta). En esta franja de transición, la inclinación aumenta de forma abrupta. Esta condición la convierte en una zona crítica, ya que la sobrecarga por edificaciones, las vibraciones del tránsito y la infiltración de agua (por riego o drenaje) inciden directamente en la pérdida de cohesión del talud subyacente, detonando procesos de erosión regresiva.

2.8.2.2. Acantilado

El acantilado constituye la geoforma de mayor criticidad y severidad geomorfológica del sistema, concentrando los rangos de pendiente fuerte (15°–25°), muy fuerte (25°–45°, naranja) y muy escarpada (>45°, rojo). Se presenta como una banda longitudinal continua que actúa como barrera entre la plataforma alta y el mar. Su comportamiento espacial varía a lo largo del litoral: en el sector norte (San Miguel y Magdalena del Mar) muestras pendientes moderadas o de bajo desarrollo, mientras que hacia el centro y sur (San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos) se consolida como un paredón subvertical continuo. En Chorrillos alcanza su máxima complejidad debido a la presencia del Morro Solar, donde la mayoría del área supera los 25° e incluso los 45° de inclinación. Debido a esta pronunciada pendiente y a la falta de cobertura vegetal, es el foco primario de inestabilidad física, propenso a caídas de rocas, derrumbes de canto rodado y deslizamientos.

Tabla N° 35: Condición del acantilado litoral por distrito (de norte a sur)

Distrito	Condición del acantilado según distrito
San Miguel	"No se observan zonas con pendientes fuertes.
Magdalena del Mar	"Sectores aislados de pendiente fuerte (15°–25°).
San Isidro	Acantilados con pendientes entre el rango de 15°–45°.
Miraflores	Pendientes fuertes a muy fuertes que se extiende a lo largo de todo el frente costero".
Barranco	"Continuidad morfológica respecto a Miraflores, pendientes fuertes a muy fuertes.
Chorrillos	Más del 60% del área del distrito con pendiente fuerte a muy fuerte; asociado al Morro Solar, "el mayor desafío topográfico de toda la Costa Verde".

Fuente: Ingemmet, 2021.

El acantilado es el elemento geomorfológico crítico del sistema. La concentración de pendientes muy fuertes a escarpadas en su tercio superior (coincidente con el contacto con la plataforma alta) lo hace susceptible a caída de rocas, derrumbes y deslizamientos, con una progresión de la severidad hacia el sur que culmina en el Morro Solar (Chorrillos).

2.8.2.3. Plataforma baja (franja de playa, rompiente, Costa Verde y plataforma marina adyacente)

Es la banda inferior de contacto entre el pie del acantilado y el mar. Esta unidad geomorfológica, abarca la mayor proporción de superficie del polígono de estudio y presenta una topografía predominantemente llana a suave (0° – 15°), visibilizada en el mapa mediante la franja de transición de verde claro a amarillo al pie del talud y la extensa cobertura verde oscuro/azul sobre el océano.

En el sector norte (San Miguel) ocupa casi la totalidad del área evaluada ante la ausencia de acantilados pronunciados, mientras que hacia el sur su franja emergida se estrecha por la proyección del relieve de Chorrillos. A pesar de presentar las pendientes más bajas del área, es una geoforma vulnerable por ser la zona de recepción directa del material desprendido del acantilado y el soporte de la infraestructura vial de la Costa Verde. Asimismo, se encuentra expuesta a la dinámica hídrica y marina (socavación por oleaje), donde la presencia de estructuras antrópicas como espigones o muelles altera el transporte y la acumulación natural de sedimentos.

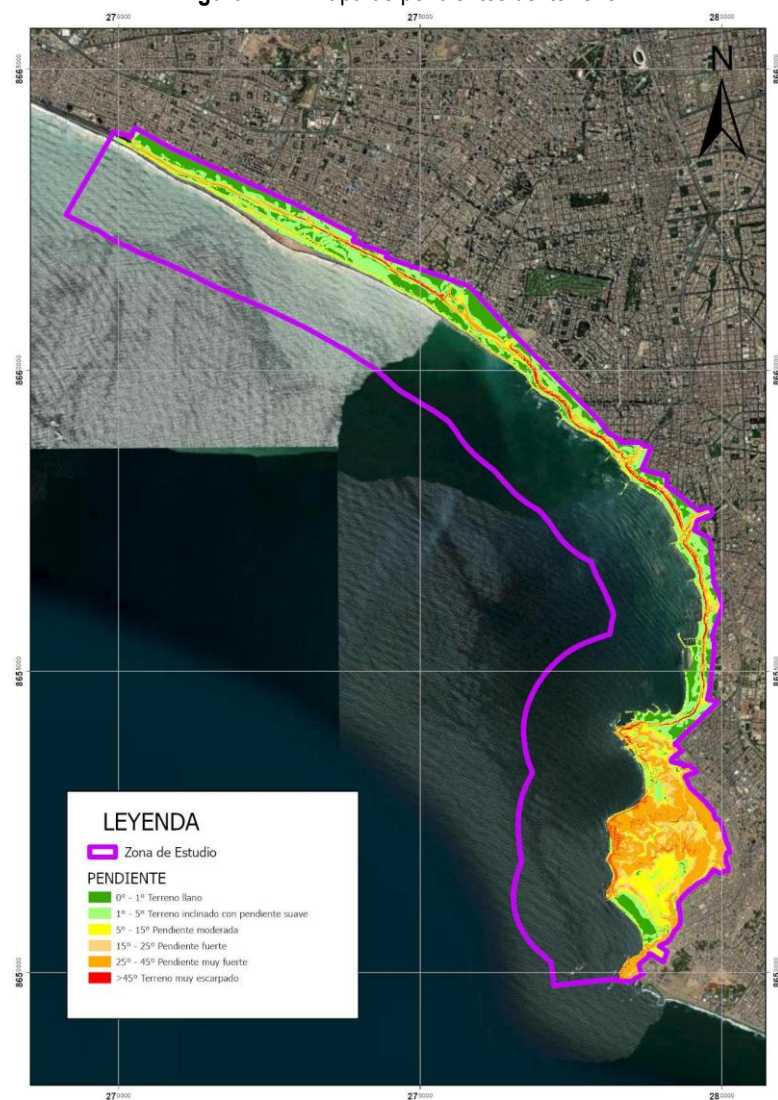
Tabla N° 36: Síntesis comparativa

Geoforma	Rango de pendiente predominante	Función geomorfológica	Distritos donde se desarrolla más	Factor de riesgo principal
Plataforma alta	Llana (0° – 1°), con incremento en el borde de contacto	Terraza urbana / corona del talud	Todos	Sobrecarga e infiltración en la cresta del talud
Acantilado	Fuerte a muy escarpada (15° a $>45^{\circ}$), máxima en el tercio superior	Escarpe litoral activo	Miraflores, Barranco y especialmente Chorrillos (Morro Solar)	Caída de rocas, derrumbes, erosión regresiva
Plataforma baja	Llana a moderada (0° – 15°)	Playa, rompiente, vía Costa Verde y plataforma marina	San Miguel y Magdalena del Mar (mayor proporción relativa)	Impacto de material desprendido del acantilado, dinámica marina, interferencia de estructuras antrópicas

La variabilidad del relieve en la Costa Verde, diferenciándose una plataforma marina predominantemente llana y una franja costera donde las pendientes aumentan progresivamente de norte a sur. Los sectores de San Miguel y Magdalena del Mar presentan condiciones topográficas favorables para el desarrollo de infraestructura, mientras que en Miraflores y Barranco predominan acantilados con pendientes fuertes a muy fuertes (15° – 45°), que constituyen importantes condicionantes geomorfológicos.

El distrito de Chorrillos concentra las condiciones más críticas, con pendientes superiores a 45° asociadas al Morro Solar, representando el sector de mayor complejidad e inestabilidad geomorfológica. En este contexto, el análisis de pendientes constituye una herramienta fundamental para la planificación territorial, el diseño de infraestructura y la evaluación del riesgo por movimientos en masa.

Figura N° 4: Mapa de pendientes del terreno



Fuente: Equipo técnico

2.9. Geotécnica

De acuerdo al Informe Técnico N° A7351: “Caracterización Geológica, Hidrogeológica, Evaluación de Peligros Geológicos por Movimientos en Masa e Identificación de Zonas de Depósitos Antropogénicos en la Costa Verde”, el acantilado de la Costa Verde está constituido por la secuencia sedimentaria del abanico aluvial del río Rímac, documentada mediante 51 columnas estratigráficas medidas en campo y 38 áreas fotogramétricas procesadas. La secuencia se compone de dos unidades de orden mayor, ambas de carácter grano-decreciente:

- Secuencia 1 (inferior): predominan niveles arenosos y limosos, con menor proporción de conglomerados; subdividida en tres subunidades (S-1A, S-1B, S-1C).
- Secuencia 2 (superior): compuesta mayormente por conglomerados (gravas), con lentes de arena intercalados; subdividida en tres subunidades (S-2A, S-2B, S-2C).

La potencia del acantilado varía regionalmente: en San Isidro alcanza más de 60 m de altura, con predominio de conglomerados que gradan a areniscas y limolitas; hacia los extremos sur (Chorrillos) y

norte (San Miguel), el acantilado se adelgaza hasta 30 m, con mayor proporción de sedimentos finos (arcillas y limos) y menor presencia de conglomerados.

Sobre esta secuencia natural se identifican depósitos antropogénicos (rellenos de desmonte, ladrillo y concreto) de espesor variable, alcanzando su máximo registrado de 30 m en el distrito de San Miguel, entre los parques Wallenberg y Los Muritos de César Paco. El informe advierte que estos rellenos, al no contar con control geotécnico durante su colocación, constituyen las zonas de mayor inestabilidad identificadas a lo largo de la Costa Verde.

2.9.1. Propiedades Físicas y Mecánicas del Suelo

2.9.1.1. Clasificación granulométrica (SUCS)

La prevalencia de limos y arenas limosas (ML y SM) en San Miguel y Chorrillos configura las zonas de mayor peligro ante sismos y movimientos en masa. Al ser suelos finos, poco consolidados y de baja cohesión, pierden resistencia rápidamente ante vibraciones sísmicas fuertes o la presencia de agua (filtraciones y riego), actuando como catalizadores de amplificación sísmica, derrumbes continuos y deslizamientos de talud.

Por otro lado, la presencia de gravas (GP y GW) en Miraflores, Barranco y Magdalena proporciona una estructura mecánicamente más firme y compacta ("conglomerado"), ofreciendo un mejor comportamiento sísmico y mayor capacidad de soporte en pendientes empinadas. Sin embargo, no están exentas de riesgo: la falta de finos o la baja cohesión entre cantos gruesos puede provocar caídas de rocas o desprendimientos puntuales durante un terremoto, mientras que la aparición aislada de limos plásticos (MH) genera probables planos de falla cuando el suelo se satura de agua.

Asimismo, el contenido de humedad natural de las muestras fue mayoritariamente bajo (1% a 5%), con cinco muestras entre 5% y 7%, dos muestras excepcionales de 10% y 15% (Bajada de Baños, Barranco, en zona de riego) y un valor máximo puntual de 21% en la Escalera Tenderini (Chorrillos, muestra clasificada como ML).

Tabla N° 37: Clasificación de suelos en el acantilado de la Costa Verde

Clasificación SUCS	N.º de muestras	Descripción	Distritos con mayor incidencia
SM	7	Arena limosa	Chorrillos (3), San Miguel (2)
ML	14	Limo inorgánico de baja plasticidad	San Miguel (6), Chorrillos (4)
MH	1	Limo inorgánico de alta plasticidad	Chorrillos (1)
SP-SM	1	Arena limosa mal graduada	San Miguel (1)
GP	4	Grava mal graduada	Miraflores (3), Barranco (1)

Clasificación SUCS	N.º de muestras	Descripción	Distritos con mayor incidencia
GW	2	Grava bien graduada	Magdalena (1), Miraflores (1)

Fuente: INGEMMET, 2023.

2.9.1.2. Agresividad química (durabilidad de cimentaciones)

Además de sus propiedades mecánicas, los suelos del acantilado fueron evaluados en su agresividad química, es decir, su potencial para deteriorar con el tiempo las cimentaciones, muros de contención, pantallas ancladas u otras obras de concreto armado que se construyan sobre o dentro de la Costa Verde. Se midieron tres componentes químicos en las 29 muestras analizadas: los sulfatos solubles, que atacan el cemento y provocan expansión, fisuración y pérdida de resistencia del concreto; las sales solubles totales, que en conjunto indican el grado general de agresividad del suelo hacia el concreto; y los cloruros solubles, que no dañan directamente el concreto, pero aceleran la corrosión del acero de refuerzo embebido en él, comprometiendo su capacidad estructural en el mediano y largo plazo.

Estos resultados son relevantes porque, ante cualquier intervención de estabilización del talud (muros, pilotes, anclajes), el diseño del concreto y del acero deberá incorporar medidas de protección específicas frente a estas sustancias, en función de los valores máximos identificados en cada distrito.

Tabla N° 38: Componentes Químicos en el ámbito de estudio

Parámetro químico	Rango general	Valores máximos puntuales	Ubicación de valores máximos
Sulfatos solubles totales	< 1% en la mayoría de muestras	1.14% – 1.76%	Chorrillos (4 muestras)
Sales solubles totales	< 1% en la mayoría de muestras	1.33% – 1.97%	San Miguel y Chorrillos
Cloruros solubles	< 2% en 16 muestras	4% – 6.5%	2 muestras de Barranco, 5 de San Miguel

Fuente: INGEMMET, 2023

Tabla N° 39: Parámetros geomecánicos estimativos por tipo de suelo

Tipo de suelo (SUCS)	Peso específico γ (t/m ³)	Ángulo de fricción ϕ' (°)	Cohesión c' (t/m ²)	Permeabilidad K (m/s)
Grava (GP–GW)	1.60 – 2.30	34 – 45	0 (no cohesivo)	$10^{-1} - 10^{-2}$
Grava arenosa con pocos finos (GP–GW)	1.90 – 2.30	35 – 45	0 (no cohesivo)	$10^{-2} - 10^{-4}$
Arena con finos, estructura granular no alterada (SP–SM)	1.90 – 2.25	32 – 40	0 – 1	$10^{-5} - 10^{-7}$
Limo poco plástico (ML)	1.75 – 2.10	28 – 35	0.5 – 2	$10^{-5} - 10^{-8}$
Limo de plasticidad media a alta (MH)	1.70 – 2.00	25 – 35	1 – 3	$10^{-6} - 10^{-9}$

Fuente: INGEMMET (2023), con base en Grundbau Taschenbuch (1980).

2.9.2. Evaluación de Estabilidad de Talud y Comportamiento Geotécnico

La evaluación de la estabilidad de los acantilados se desarrolló mediante fotointerpretación multitemporal (analizando los años 1943, 1960, 2001 y la actualidad) y cartografía geológica de campo. A partir del análisis realizado, se definieron y cuantificaron los procesos de remoción en masa y las discontinuidades físicas del ámbito de estudio. Los deslizamientos rotacionales se desarrollan preferentemente en suelos o depósitos cuaternarios y en rellenos antropogénicos poco compactados, porosos y con presencia de humedad, expresándose en superficie como grietas semicirculares, elongadas e irregulares y fallas circulares por deformación lateral. Los hundimientos (subsidiencias) se asocian a antiguas cárcavas rellenas sin control geotécnico, agravados por la saturación de los materiales debido a la presencia de jardines y parques con riego constante, vínculo directo entre la dinámica hidrogeológica descrita en el Capítulo I y la inestabilidad geotécnica del talud.

Asimismo, se documenta el comportamiento sísmico esperado de estos materiales: el estudio advierte que los suelos del acantilado, al no ser homogéneos, sufrirán refracciones, reflexiones y/o amplificaciones de las ondas sísmicas, pudiendo inducir efectos de densificación o licuefacción en los materiales sueltos y saturados, con riesgo de daños estructurales y pérdida de vidas humanas (Guzmán et al., 1997, citado en el documento base).

Tabla N° 40: Mecanismos de falla identificados por distrito

Distrito	Derrumbes / caída de suelos y rocas	Escarpes activos y agrietamientos	Deslizamientos rotacionales potenciales	Hundimientos / subsidiencias
San Miguel	30 zonas identificadas	25 escarpes (apertura < 20 cm, hasta 1 m de profundidad)	18 zonas de falla circular a semicircular	No cuantificado específicamente
Magdalena del Mar	29 zonas identificadas	12 escarpes (longitud promedio 22 m)	8 zonas (0.78 ha) + 8 deslizamiento-derrumbe combinados	10 zonas con subsidiencias leves
San Isidro	Registro más bajo de la CV (por banqueteo del talud)	2 escarpes circulares	5 zonas proyectadas (10 ha totales)	10 zonas de hundimiento potencial (p. ej. plaza Guilde)

Fuente: INGEMMET, 2023.

2.10. Caracterización de la Dinámica Oceanográfica

2.10.1. Batimetría

El levantamiento batimétrico (marzo de 2016, cartas a escala 1:25,000 y 1:5,000, Datum WGS-84, proyección UTM zona 18S) permite caracterizar la configuración submarina de la bahía a partir del comportamiento de los veriles (isobatas) de 5, 10 y 20 metros:

- **Veriles de 5 y 10 m:** presentan, en general, una configuración casi paralela al perfil de costa en gran parte de la zona de estudio.

- **Distritos de San Miguel y Magdalena (parte central de la bahía):** el veril de 5 m se ubica a menor distancia de la costa; adicionalmente, se identifica una cuña del veril de 10 m frente a los islotes La Horadada, evidenciando afloramientos rocosos en forma de una pequeña dorsal submarina perpendicular a la costa.
- **Distritos de San Isidro, Miraflores y Barranco:** el veril de 5 m se aleja más de la línea de costa, lo que caracteriza a este sector con una **pendiente marina más suave**.
- **Veril de 20 m:** se encuentra muy alejado de la costa en la mayor parte de la bahía; sin embargo, en la zona sur (frente a las playas La Herradura y La Chira) se aproxima notablemente a la costa, evidenciando una **pendiente marina fuerte** en ese sector.
- De las **44 secciones transversales** medidas a lo largo de toda el área, se concluye la siguiente zonificación general de pendientes:

Tabla N° 42: Zonificación general de pendientes marinas según secciones batimétricas

Sector	Pendiente marina	Observación morfodinámica
Playa Villa a Punta Chorrillos (sur)	Fuerte	Rompiente cercano a la costa, tipo envolvente
Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro	Suave a moderada	Zona de rompiente más ancha, tipo derrame, entre Punta Codo y el límite San Isidro/Magdalena
Magdalena, San Miguel, La Perla	Regular	Isobatas de 5 y 10 m relativamente próximas a costa

Fuente: INGEMMET, 2023.

La configuración de pendiente condiciona directamente el tipo de rotura del oleaje: en el sector de pendiente suave (entre Punta Codo y el límite San Isidro-Magdalena) predominan rompientes en derrame, mientras que en el resto de la zona de estudio, donde la rompiente se ubica muy cerca de la costa, predominan rompientes de tipo envolvente.

2.10.2. Dinámica Costera

- **Oleaje predominante**

A partir de la información de oleaje en aguas profundas (serie 1979-2013, calibrada con datos satelitales ERS1, ERS2, GOES, ENVISAT y JASON, y validada frente al modelo WAVE WATCH III), se determinó que la dirección predominante del oleaje proviene de:

Tabla N° 43: Porcentaje de ocurrencia de dirección de oleaje en aguas profundas

Dirección	Porcentaje de ocurrencia
Sursuroeste (SSO)	44.50 %
Suroeste (SO)	41.23 %
Oesnoroeste (ONO)	4.35 %
Sur (S)	4.16 %
Oesudoeste (OSO)	3.05 %
Oeste (O)	1.47 %
Noroeste (NO)	1.06 %
Sursureste (SSE)	0.16 %

La altura de ola predominante en aguas profundas se ubica en torno a 2 m, con eventos que pueden superar los 5 m. El periodo predominante oscila entre 12 y 14 segundos, con máximos observados entre 22 y 24 segundos. La serie histórica 1979-2013 muestra estacionalidad: las mayores alturas promedio ocurren durante los meses de invierno austral (junio, julio, agosto: 2.44-2.51 m promedio mensual), y las menores durante el verano austral.

- **Régimen extremo de oleaje en aguas profundas**

Mediante los métodos estadísticos GEV (Valores Extremos Generalizados) y POT (*Peaks Over Threshold*), se determinaron las alturas de ola significativa para distintos periodos de retorno en aguas profundas:

Tabla N° 44: Altura de ola (Hs, en metros) para periodos de retorno en aguas profundas

Método	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años
POT	4.68	5.00	5.21	5.47	5.63	5.74	5.89
GEV	4.72	5.10	5.28	5.48	5.55	5.64	5.67

Fuente: DHN

Las mediciones directas frente a Miraflores (18 m de profundidad, 02-27 marzo 2016) y frente a La Herradura (15 m de profundidad, 29 feb-05 abril 2016) arrojaron:

Tabla N° 45: Características del oleaje incidente medido en costa (2016)

Parámetro	Frente a Miraflores (18 m)	Frente a La Herradura (15 m)
Altura significativa (Hs)	1.5 – 2.8 m (promedio 1.8 m)	0.8 – 2.2 m
Altura máxima (Hmax)	2.5 – 5.0 m (máx. registrado 5.4 m; promedio de máximas 3.3 m)	1.7 – 4.0 m (máx. registrado 4.4 m; promedio de máximas 2.5 m)
Periodo predominante pico	14 – 18 s (62 % de ocurrencia)	10 – 15 s (75 % de ocurrencia)
Dirección predominante pico	Sur-Suroeste (S-SO), 79 %	Suroeste (SO), 99 %

Fuente: DHN

- **Régimen extremo de oleaje en aguas someras por distrito**

Las mediciones de campo realizadas entre febrero y abril de 2016 evidencian que el sector frente a Miraflores recibe oleajes de mayor severidad (con alturas máximas de hasta 5.4 m y periodos largos de 14 a 18 s) procedentes del Sur-Suroeste. En contraste, el sector de La Herradura presenta un oleaje atenuado (máximas de 4.4 m) con menor periodo, pero con una dirección de incidencia casi uniforme desde el Suroeste (99 %):

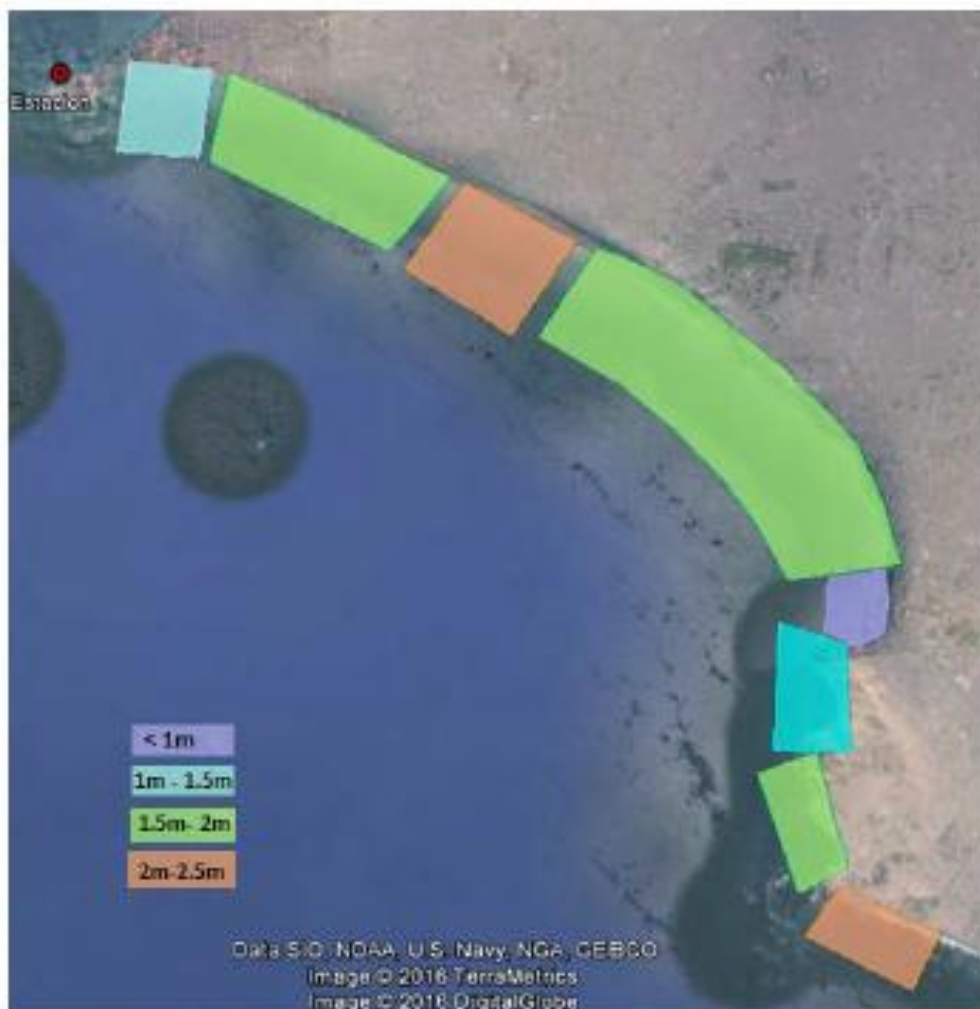
Tabla N° 46: Régimen extremo de altura de ola (m) en aguas someras, por distrito

Distrito	Punto de control	Método GEV Tr=2/5/10/25/50 años	Método Gumbel Tr=2/5/10/25/50 años
Callao	P04	3.25 / 3.33 / 3.35 / 3.36 / 3.37	3.21 / 3.39 / 3.51 / 3.67 / 3.78
San Miguel	P14	3.73 / 3.76 / 3.77 / 3.77 / 3.78	3.71 / 3.78 / 3.82 / 3.87 / 3.91
Magdalena	P18	3.54 / 3.58 / 3.59 / 3.60 / 3.60	3.49 / 3.65 / 3.75 / 3.88 / 3.98
San Isidro	P24	3.28 / 3.31 / 3.32 / 3.33 / 3.33	3.27 / 3.31 / 3.35 / 3.38 / 3.41
Miraflores	P32	3.21 / 3.24 / 3.25 / 3.26 / 3.26	3.19 / 3.27 / 3.33 / 3.40 / 3.45
Barranco	P46	2.94 / 3.01 / 3.02 / 3.03 / 3.04	2.89 / 3.05 / 3.15 / 3.27 / 3.36
Chorrillos – Agua Dulce	P48	1.79 / 1.90 / 1.94 / 1.97 / 1.98	1.75 / 1.94 / 2.06 / 2.22 / 2.34
Chorrillos – La Herradura	P52	2.67 / 2.88 / 2.96 / 3.04 / 3.07	2.60 / 2.91 / 3.11 / 3.36 / 3.55
Chorrillos – La Chira	P58	4.36 / 4.76 / 4.97 / 5.20 / 5.33	4.30 / 4.75 / 5.05 / 5.43 / 5.71
Chorrillos – Playa	P63	4.49 / 4.89 / 5.11 / 5.35 / 5.49	4.44 / 4.88 / 5.17 / 5.54 / 5.81

Villa			
-------	--	--	--

Los distritos de **San Miguel, Magdalena y la playa Villa (Chorrillos)** presentan las mayores alturas de ola en régimen extremo (hasta ~5 m para 50 años de periodo de retorno), atribuible a la incidencia directa del oleaje y a efectos de refracción poco significativos en ese sector.

Gráfico N° 48: Sectorización de zonas según oleaje



Fuente: DHN

- **Braveza de mar (oleaje irregular/anómalo)**

Estadísticamente, el porcentaje de ocurrencia de oleaje irregular o "Bravezas de Mar" en El Callao es de **31.44 %** (68.56 % corresponde a condiciones normales). De ese 31.44 %, la distribución por intensidad es:

Tabla N° 47: Distribución anual de condiciones del estado del mar en El Callao

Condición	Porcentaje de ocurrencia	Días equivalentes al año
Condiciones normales	68.56 %	~250 días
Oleaje anómalo ligero	74.33 % del total de bravezazas (23.4 % del año)	~85 días

Oleaje anómalo moderado	22.58 % del total de bravezas (7.1 % del año)	~26 días
Oleaje anómalo de fuerte intensidad	3.09 % del total de bravezas (~1.1 % del año)	~4 días

- **Mareas**

Respecto a la marea astronómica: el régimen mareal de referencia (estación La Punta-Callao, área de influencia de ~50 km, ciclo nodal lunar de referencia 1979-1997) es:

Tabla N° 48: Niveles de marea de referencia — Callao (respecto al Nivel Medio del Mar)

Nivel de referencia	Cota (m)
Nivel de Más Alta Marea (NMAM)	+0.98
Nivel Medio de Pleamares de Sicigias Ordinarias (NMPSO)	+0.50
Nivel Medio de Pleamares Superiores (NMPS)	+0.38
Nivel Medio de Pleamares (NMP)	+0.27
Nivel Medio del Mar (NMM)	0.00
Nivel Medio de Bajamares (NMB)	-0.27
Nivel Medio de Bajamares Inferiores (NMBI)	-0.35
Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO)	-0.47
Nivel de Más Baja Marea (NMBM)	-0.75

- Amplitud media de marea: **0.54 m**
- Amplitud media en sicigias: **0.97 m**
- Establecimiento de puerto: **05 h 36 min**
- Clasificación por rango: **régimen microtidal** (amplitud < 2 m)

El análisis armónico (año 1992, 97 % de precisión, 68 constituyentes: 45 astronómicos y 23 no lineales) determinó que las componentes semidiurnas concentran el 45 % de la energía total de la onda de marea, y las **diurnas el 33 %**. Las constituyentes principales son:

Tabla N° 49: Principales constituyentes armónicas de marea — Callao

Constituyente	Tipo	Amplitud (cm)	Fase (°)
M2	Semidiurna	23.59	213.91
S2	Semidiurna	8.00	184.05
N2	Semidiurna	6.40	166.90
K2	Semidiurna	2.54	326.60
K1	Diurna	15.03	114.50
O1	Diurna	7.15	161.40
P1	Diurna	4.48	140.13
Q1	Diurna	1.09	110.16

El coeficiente de Courtier, $F = (\text{Amp K1} + \text{Amp O1}) / (\text{Amp M2} + \text{Amp S2}) = 1.18$, ubicado en el rango $0.25 < F < 1.50$, clasifica el régimen de marea del área de estudio como **marea mixta, principalmente semidiurna** (dos pleamares y dos bajamares por día mareal, con marcada desigualdad diaria entre ellas).

Respecto a la marea meteorológica y variabilidad del nivel del mar

- Rango normal de variabilidad del nivel del mar: ± 6 cm respecto al promedio patrón.

- Se identifican tres fases históricas en el nivel medio del mar de El Callao: anomalías negativas (1949-1972), anomalías positivas (hasta mediados de 1999) y nuevamente anomalías negativas (fase fría, hasta 2013), con posible cambio de fase incierto en 2014-2015.
- Máximo histórico registrado: anomalía de +0.34 m en diciembre de 1997 (Fenómeno El Niño Extraordinario 1997-1998).
- Mínimo histórico registrado: anomalía de -0.16 m en febrero de 1968 (Fenómeno La Niña).
- Tendencia de incremento del nivel del mar: en el periodo 1942-2015 (74 años) se registró un incremento acumulado de 13 cm, con tasas que se aceleran en los subperiodos analizados (hasta 5.824 mm/año en 1999-2015).
- Proyección: de mantenerse la tendencia, para el horizonte 2090-2100 se estima un incremento acumulado del nivel del mar de 0.39 a 0.43 m (sin considerar aceleración por deshielo de mantos de hielo); ante la ocurrencia de un evento El Niño de similares características al de 1997-1998, el incremento adicional podría alcanzar +0.80 m, con efectos de inundación más severos a lo largo del litoral.

De acuerdo al análisis, las bravezas de mar (oleaje anómalo) generan mayor impacto cuando coinciden con las pleamares (condición de máxima amplitud del nivel del mar) y/o con el debilitamiento de los vientos costeros, un principio de acoplamiento marea-oleaje directamente relevante para la estimación de la cota de inundación en un escenario de tsunami.

• Corrientes Marinas

Respecto a las corrientes marinas, el flujo general ingresa desde la frontera sur (frente a playa Villa); desde el veril de 40 m hacia aguas más profundas se transporta de forma paralela a dicho veril con magnitudes del orden de 30 cm/s. Al interior de la bahía las magnitudes son del orden de 15 cm/s, con un rango amplio de direcciones, por momentos salientes de costa.

Corrientes locales medidas

Tabla N° 50: Corrientes marinas medidas por sector

Sector	Profundidad de medición	Velocidad	Dirección predominante
Miraflores	0-12 m (03-27 mar 2016)	5-24 cm/s (superficie 15-20 cm/s; subsuperficie 12-15 cm/s; fondo <12 cm/s)	Suroeste (SO) y Noroeste (NO); comp. U hacia el Oeste, comp. V hacia el Norte
Chorrillos	0-13 m (29 feb-05 abr 2016)	5-20 cm/s, con eventos mayores	Superficie: Norte (N); subsuperficie: Sur-Suroeste (S-SO); fondo: Suroeste (SO)
La Herradura	0-12 m	<15 cm/s	Alta variabilidad direccional

2.10.3. Geomorfología Litoral

La configuración de la línea de costa varía sensiblemente entre distritos. Entre el límite La Perla/San Miguel y la playa Pescadores, la costa presenta forma elíptica con orientación principal Noroeste-Sureste; entre las playas La Herradura y Villa la orientación cambia a Norte-Sur; y en la propia playa Villa retoma la orientación Noroeste-Sureste. Esta variabilidad geométrica condiciona una respuesta diferenciada de cada tramo frente al oleaje incidente (incidencia directa vs. refracción).

Tabla N° 51: Clasificación geomorfológica del borde costero por sector

Sector / Playa	Tipo de borde costero	Ancho aproximado	Pendiente	Estructuras de protección presentes
Playa La Perla (San Miguel)	Canto rodado + residuos sólidos de relleno; geomorfología irregular	~1,000 m de litoral, 20-40 m de ancho	Pronunciada	Molones
Playa Mar Brava (San Miguel)	Canto rodado + material no consolidado; geomorfología irregular y sinuosa	~3,000 m de litoral; 30-40 m (zona sur)	Pronunciada	Muro de concreto (~2.5 m alto) en zona central
Playas de Miraflores (Waikiki, Pampilla, Punta Roquita, Tres Picos, Los Delfines)	Canto rodado + material no consolidado; forma cóncava y sinuosa	~2,800 m en total; 5-25 m según playa	Pronunciada a moderada	Espigones que separan cada playa; muro de concreto (Waikiki/Pampilla)
Ensenada de Chorrillos	Playa de arena (lado oriental) + acantilado rocoso (Morro Solar, lado occidental)	—	—	Espigones rocosos, rompeolas y retenedores de arena (Club Regatas Lima); muelle artesanal y muelle Regatas Lima
Playa La Herradura (Chorrillos)	Playa en forma de herradura entre Salto del Fraile (N) y Punta Codo (S)	—	—	Veril de 10 m paralelo a costa a ~370 m
Caleta y Punta La Chira (Chorrillos)	Acantilados de bastante altura descendiendo al mar; ensenada de 3/4 x 1/4 de milla	—	—	Islote Pan de Azúcar a 1/2 milla mar adentro
Playa Villa (Chorrillos)	Playa arenosa, de "regresión" (dunas tipo "lomo de ballena" adyacentes)	—	—	Espigón (retención de arena limitada/localizada)

Elementos geomorfológicos singulares:

- **Morro Solar:** accidente natural que emerge abruptamente del mar, separado de otras alturas vecinas; alberga el monumento Cristo del Pacífico (12°10'27.3" S, 77°01'43.5" O), de 37 m de altura total (estatua de 22 m sobre base de 15 m), utilizado como punto conspicuo de navegación.
- **Punta Chorrillos:** cierra por el sureste la ensenada de Chorrillos; prolongación rocosa que se proyecta hasta 1/4 de milla hacia el oeste.
- **Zona de acantilados tipo "escarpe":** el propio estudio de modelación numérica (entregable 02) señala expresamente que en los distritos de **San Miguel, Magdalena y San Isidro** el terreno ganado al mar mediante rellenos artificiales presenta una **pendiente fuerte tipo acantilado** hacia el lado continental, condición que los propios autores del estudio advierten como una limitación del modelo de evolución de playas empleado (UNIBEST), el cual asume una pendiente gradual y podría subestimar la vulnerabilidad real de este frente ante procesos erosivos o de inundación marina.

2.10.4. Sedimentación del Fondo marino y de playas

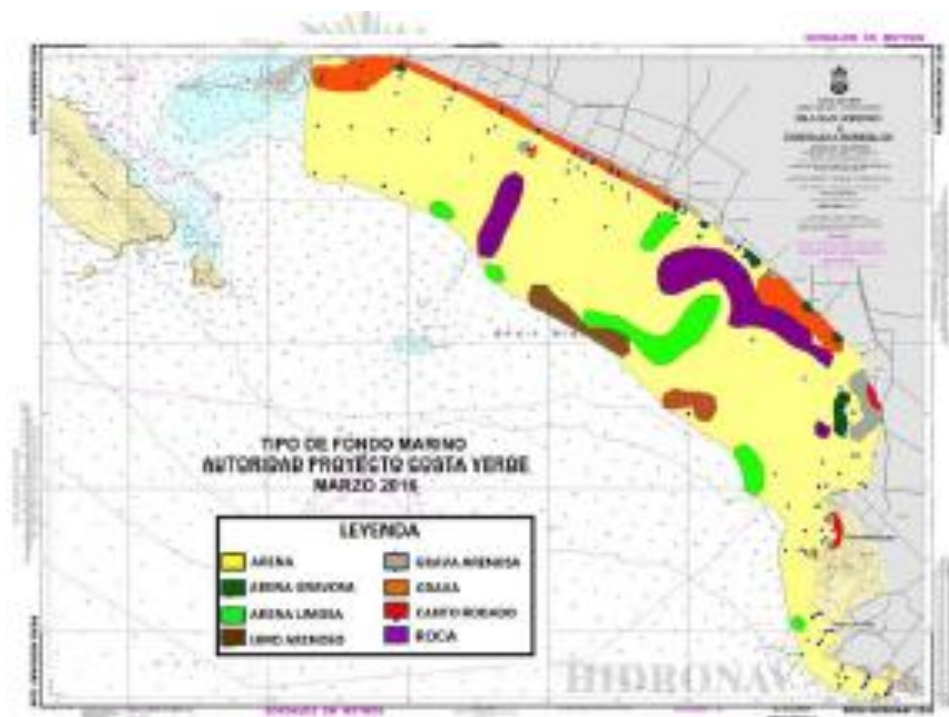
De 201 estaciones de muestreo (entre playa Villa y playa Carpayo, entre la línea de playa y el veril de 7-18 m), la composición granulométrica es:

Tabla N° 52: Composición granulométrica del fondo marino superficial

Tipo de material	N.º estaciones	Porcentaje
Arenoso	105	52.1 %
Gravoso	32	15.9 %
Grava arenosa	18	9.0 %
Arena gravosa	~12	6.0 %
Arena limosa	11	5.5 %
Roca	16	8.0 %
Canto rodado	5	2.5 %
Limo arenoso	2	1.0 %

En cuanto a las playas propiamente dichas: 50 % están constituidas por material gravoso y canto rodado, 28.58 % por arena gravosa/grava arenosa, y el 21.42 % restante por material arenoso (concentrado en Chorrillos, La Chira y playa Villa). El tamaño de partícula (D10, D50, D90) varía entre 0.06 mm (limo, estación TE-3m) y 100 mm (canto rodado, estación T06-7m), con incremento progresivo del contenido de limo a partir del veril de 7 m hacia mayores profundidades.

Gráfico N° 49: Elemento gráfico referencial de Sedimentación del Fondo marino y de playas



Fuente: DHN

Gráfico N° 50: Proceso de erosión y sedimentación

Tramo	Distrito	Punto base	Distancias con respecto al año 2004			Variación promedio (2004-2016)	Tasa de variación (m/año)			Variación Promedio (m/año)
			2004-2009	2004-2012	2004-2016		2004 - 2009	2009-2012	2012-2016	
L1-L2	San Miguel	A1	29	65	113	69	9.7	12.0	12.0	13.4
		A2	36	95	170	100	12.0	19.7	18.8	
		A3	48	109	150	102	16.0	20.3	10.3	
		A4	84	68	100	84	28.0	-5.3	8.0	
L2-L3	Magdalena	B1	140	103	87	110	46.7	-12.3	-4.0	7.8
		B2	79	91	93	88	26.3	4.0	0.5	
		B3	31	106	89	75	10.3	25.0	-4.3	
		B4	6	92	43	47	2.0	28.7	-12.3	
L3-L4	San Isidro	C1	-7	47	8	16	-2.3	18.0	-9.8	4.0
		C2	-10	57	20	22	-3.3	22.3	-9.3	
		C3	-7	71	34	33	-2.3	26.0	-9.3	
		D1	-13	57	29	24	-4.3	23.3	-7.0	
L4-L5	Miraflores	D2	-9	42	31	21	-3.0	17.0	-2.8	0.5
		D3	-5	-9	-10	-8	-1.7	-1.3	-0.3	
		D4	0	-1	3	1	0.0	-0.3	1.0	
		D5	-2	-6	-10	-6	-0.7	-1.3	-1.0	
		D6	-1	-1	3	0	-0.3	0.0	1.0	
		D7	-3	-1	-2	-2	-1.0	0.7	-0.3	
		D8	0	-3	-5	-3	0.0	-1.0	-0.5	
		D9	-3	-9	-13	-8	-1.0	-2.0	-1.0	
		D10	5	9	10	8	1.7	1.3	0.3	
		D11	11	6	7	8	3.7	-1.7	0.3	
		E1	10	-1	-5	1	3.3	-3.7	-1.0	
L5-L6	Barranco	E2	10	-5	-3	1	3.3	-5.0	0.5	1.2
		E3	4	0	-8	-1	1.3	-1.3	-2.0	
		E4	32	5	48	28	10.7	-9.0	10.8	
		E5	10	19	34	21	3.3	3.0	3.8	
L6-L7	Chorrillos - Agua Dulce	F1	7	13	19	13	2.3	2.0	1.5	2.2
		F2	16	22	23	20	5.3	2.0	0.3	
L8-L9	Chorrillos - La Herradura	G1	18	9	10	12	6.0	-3.0	0.3	1.0
		G2	19	8	10	12	6.3	-3.7	0.5	
		G3	15	-4	12	8	5.0	-6.3	4.0	
L10-L11	Chorrillos - La Chira	H1	-1	-15	-25	-14	-0.3	-4.7	-2.5	0.3
		H2	8	1	8	6	2.7	-2.3	1.8	
		H3	13	7	30	17	4.3	-2.0	5.8	
L12-L13	Chorrillos - Villa	I1	21	-13	14	7	7.0	-11.3	6.8	0.9
		I2	21	1	8	10	7.0	-6.7	1.8	
		I3	19	5	6	10	6.3	-4.7	0.3	
		I4	30	11	12	18	10.0	-6.3	0.3	

Fuente: DHN

Gráfico N° 51: Tasa de variación del perfil costero

Limite	Distrito	Punto base	Tasa de variación (m/año)				Variación Promedio (m/año)		Descripción
			Medido		Modelado		Medido	Modelado	
			2009-2012	2012-2016	2009-2012	2012-2016			
L1-L2	San Miguel	A1	12.0	12.0	-1.1	-3.8	12.0	-1.3	Zona de relleno por desmonte. Erosión sobre todo en 2012-2016 en lo modelado
		A2	19.7	18.8	4.9	-3.9			
		A3	20.3	10.3	7.2	-4.2			
		A4	-5.3	8.0	-4.5	-5.2			
L2-L3	Magdalena	B1	-12.3	-4.0	-6.1	-5.5	3.2	-6.2	Zona de relleno (desmonte) Erosión sobre todo en 2012-2016 tanto en lo medido como modelado
		B2	4.0	0.5	-5.2	-6.6			
		B3	25.0	-4.3	2.3	-9.2			
		B4	28.7	-12.3	-8.4	-10.7			
L3-L4	San Isidro	C1	18.0	-9.8	-19.6	-12.0	6.3	-18.4	Zona de relleno (desmonte) Erosión sobre todo en 2012-2016 tanto en lo medido como modelado.
		C2	22.3	-9.3	-25.4	-13.6			
		C3	26.0	-9.3	-23.3	-16.2			
L4-L5	Miraflores	D1	23.3	-7.0	-8.4	-13.3	1.1	0.6	Zona estable
		D2	17.0	-2.8	6.3	-0.2			
		D3	-1.3	-0.3	12.0	-0.5			
		D4	-0.3	1.0	3.2	0.4			
		D5	-1.3	-1.0	-1.9	1.2			
		D6	0.0	1.0	-2.9	1.0			
		D7	0.7	-0.3	2.0	-0.5			
		D8	-1.0	-0.5	0.4	-0.6			
		D9	-2.0	-1.0	8.9	-0.5			
		D10	1.3	0.3	5.9	0.1			
		D11	-1.7	0.3	0.8	-0.3			
L5-L6	Barranco	E1	-3.7	-1.0	5.2	-0.2	-0.4	-0.3	Zona estable con tendencia a la sedimentación en la zona sur
		E2	-5.0	0.5	-13.3	0.2			
		E3	-1.3	-2.0	-15.4	-3.0			
		E4	-9.0	10.8	6.1	6.0			
		E5	3.0	3.8	14.7	3.0			
L6-L7	Chorrillos - Agua Dulce	F1	2.0	1.5	1.8	2.8	1.5	-0.3	Zona estable, con procesos muy locales
		F2	2.0	0.3	-3.8	-2.0			
L8-L9	Chorrillos - La Herradura	G1	-3.0	0.3	-2.1	-3.0	-1.4	-4.4	Erosion
		G2	-3.7	0.5	-5.9	-4.0			
		G3	-6.3	4.0	-6.4	-5.0			

Fuente: DHN

2.10.5. Fenómenos marinos anómalos y su interacción con la infraestructura existente

Si bien los documentos no registran eventos de tsunamis, sí documentan de manera detallada el comportamiento de los **oleajes de tempestad ("Bravezas de Mar")** y su interacción con la costa y la infraestructura de protección existente, información que resulta un valioso indicador análogo (aunque no

equivalente) de los mecanismos de amplificación de energía marina que también son relevantes para el peligro por tsunami:

- **Frecuencia:** las bravesas de mar ocurren en El Callao el **31.44 %** de los días del año (~115 días/año), de las cuales el 3.09 % son de fuerte intensidad (~4 días/año).
- **Condición crítica de acoplamiento:** el propio estudio advierte que "los oleajes anómalos o Bravesas de Mar son de mayor impacto, cuando coinciden con las pleamares (máximas amplitudes) y/o con el debilitamiento de los vientos en el litoral". Este principio físico de superposición marea-oleaje es directamente aplicable al cálculo de la cota de inundación por tsunami, en la que la marea astronómica al momento del arribo de la onda es un factor determinante de la cota final alcanzada.
- **Modulación por El Niño / La Niña:** durante el Fenómeno El Niño las bravesas se vuelven más destructivas porque el nivel del mar se incrementa (anomalía positiva de hasta +0.34 m, registrada en diciembre de 1997) y aumenta la frecuencia de oleajes anómalos provenientes del Noroeste, dirección que normalmente no incide sobre sectores protegidos de la bahía, "afectando las áreas que normalmente están protegidas de este oleaje, que conjuntamente con la elevación del nivel del mar, magnifica su impacto sobre las playas y acantilados". Durante La Niña, en cambio, aumenta la frecuencia de bravesas, pero no necesariamente su intensidad.
- **Interacción con infraestructura:** los documentos registran que estructuras existentes como el espigón de playa Villa no han logrado retener volúmenes significativos de sedimento pese a la energía del oleaje incidente, y que el muro de concreto de playa Mar Brava (~2.5 m de altura) y los muros similares en Waikiki/Pampilla han sido edificados como protección ante el oleaje ordinario, sin que los documentos reporten su desempeño ante eventos extremos de gran magnitud (bravesas fuertes o, por extensión, un tsunami).

Las Consecuencias reportadas de estos eventos anómalos son incremento del riesgo en actividades portuarias, faenas de pesca artesanal, actividades deportivas y de recreo, así como el cierre eventual de puertos.

2.10.6. Factores Condicionantes del Borde Costero

A partir de la información oceanográfica y geomorfológica sistematizada, se identifican las siguientes variables físicas, de acuerdo con los principios de la oceanografía física costera— condicionan (amplifican o atenúan) la energía de las olas al aproximarse a la Costa Verde, y que constituyen el sustrato físico sobre el cual deberá aplicarse la modelación específica de propagación de tsunami:

Tabla N° 53: Factores físicos condicionantes documentados por sector

Distrito / Sector	Pendiente de fondo	Altura de ola promedio incidente	Régimen de refracción del oleaje	Transporte de sedimentos	Estado del perfil costero (2006-2016)
San Miguel	Fuerte	2.06 m	Incidenia directa; efectos de refracción poco significativos	Predominante hacia el noroeste, con posible inversión bajo ciertas condiciones	Sedimentación (+13.4 m/año) por rellenos artificiales; predominan procesos de erosión de fondo
Magdalena	Fuerte	1.88 m	Incidenia directa; efectos de refracción poco significativos	Predominante hacia el noroeste, con posible inversión	+7.8 m/año en promedio, pero con reversión a erosión (-4 a -12 m/año) entre 2012-2016
San Isidro	Moderada	1.94 m	—	Transporte hacia el noroeste	Erosión predominante;

					+4.0 m/año en promedio (2006-2016) pero con incremento reciente de erosión (-9.3 a -9.8 m/año, 2012-2016)
Miraflores	Moderada	1.76 m	Refracción moderada, con cambios en la dirección del oleaje	Predominante hacia el noroeste, con posible inversión	Estabilidad general (+0.5 m/año promedio); procesos de erosión muy locales
Barranco	Moderada	1.53 m	—	Transporte hacia el norte	Estabilidad general; mayores cambios en zona de la Marina (ganancia de playa)
Chorrillos – Agua Dulce	Moderada	0.85 m	Zona de mayor efecto de refracción del oleaje	Transporte hacia el norte	Estabilidad del perfil costero
Chorrillos – La Herradura	Fuerte	1.23 m	Efectos de refracción del oleaje incidente	Transporte hacia el noreste (sur) y sureste (norte)	Proceso de erosión fuerte que habría alcanzado su punto máximo
Chorrillos – Playa Villa	Moderada	2.02 m	Incidencia directa; refracción poco significativa	Transporte convergente (predominante hacia el noroeste en ciertos eventos)	Estabilidad del perfil costero pese al oleaje fuerte

Fuente: DHN

3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE PELIGRO

3.1. Metodología para la determinación de peligros

Se desarrolló el análisis del peligro mediante la identificación y caracterización de los procesos naturales que condicionan la estabilidad y funcionalidad del territorio. Para ello se evaluaron los peligros asociados a la geodinámica externa, principalmente los movimientos en masa, incluyendo caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos, deslizamientos rotacionales, erosión en cárcavas, surcos y hundimientos; los peligros de geodinámica interna, representados por la amenaza sísmica; y los peligros marino-costeros e hidro-oceanográficos, tales como tsunamis, erosión marina, socavación, transporte de sedimentos y otros procesos que regulan la dinámica litoral. La caracterización de estos peligros se sustentó en el análisis de factores condicionantes, como la geología, geomorfología, pendiente, características del litoral y condiciones oceanográficas, así como de factores desencadenantes, entre ellos la actividad sísmica, las precipitaciones, el oleaje y los efectos asociados al cambio climático, permitiendo elaborar la cartografía temática de peligros que constituye la base del análisis posterior.

3.2. Análisis de aspectos físicos del ámbito de estudio

- Respecto a condiciones geológicas

El área de estudio de la Costa Verde corresponde al abanico aluvial del río Rímac, conformado por dos secuencias sedimentarias de arenas, limos y conglomerados ("Grava de Lima"), con espesores del acantilado que varían entre 30 m en los extremos (Chorrillos y San Miguel) y más de 60-80 m en los sectores centrales (San Isidro, Miraflores). Sobre esta secuencia natural se han identificado depósitos antropogénicos, rellenos de desmonte, ladrillo y concreto de hasta 30 m de espesor y sin control geotécnico durante su colocación, lo que los convierte en materiales sueltos, heterogéneos y de baja compacidad.

Gráfico N° 53: Zonas de Rellenos antrópicos



Fuente: Equipo Técnico

- **Respecto a condiciones geomorfológicas y suelos**

El relieve se organiza en franjas paralelas a la línea de costa: playa (0-5 m s.n.m.), terraza baja de origen antrópico, el acantilado propiamente dicho con alturas entre 20 y 80 m según el distrito, y la planicie aluvial superior donde se asienta el área urbana (hasta cerca de 87 m s.n.m. en Miraflores). En cuanto a los suelos, la caracterización de 29 muestras clasificó los materiales predominantemente como limos de baja a alta plasticidad (ML/MH, 52% de las muestras) y arenas y gravas limosas (SM/SP-SM/GP/GW, 48%), evidenciando una importante presencia de finos susceptibles a perder resistencia ante la presencia de agua, condición relevante frente a fenómenos de amplificación o densificación sísmica.

Gráfico N° 54: Vista de las principales geoformas en la costa verde



Fuente: Equipo Técnico Fuente: Equipo Técnico

- **Respecto a condiciones de pendientes**

muestra que la intervención antrópica ha modificado sustancialmente el relieve original: si en 1960 predominaban pendientes llanas en las planicies y pendientes moderadas a muy escarpadas en el frente natural del acantilado, en la actualidad estas pendientes fuertes a muy escarpadas se distribuyen de forma irregular, asociadas a terraplenes viales, terrazas antrópicas y depósitos de relleno, llegando a representar hasta el 8% del área evaluada en distritos como San Miguel. Esta combinación de materiales heterogéneos y de baja compacidad, dispuestos sobre pendientes pronunciadas y en gran parte modificadas artificialmente, constituye un factor físico determinante para el comportamiento del sector ante un evento sísmico, al condicionar tanto la posible amplificación de las ondas sísmicas como la inestabilidad de los taludes.

Gráfico N° 55: Pendientes Muy escarpadas



Fuente: Equipo Técnico

3.3. Peligro por movimientos sísmicos

El peligro por sismos en la Costa Verde evalúa la interacción directa entre las condiciones intrínsecas del terreno y la fuerza sísmica que actúa como detonante.

Por un lado, los factores condicionantes definen la vulnerabilidad física del acantilado mediante la caracterización de la geología local, la geomorfología, la inclinación de la pendiente y las propiedades del suelo. Por otro lado, el factor desencadenante corresponde a la aceleración sísmica máxima que experimenta la estructura del terreno durante un evento telúrico, parámetro determinado a partir de los estudios de sismicidad local del Instituto Geofísico del Perú para un periodo de retorno de 500 años. Esta integración metodológica permite precisar detalladamente las condiciones del peligro a nivel cartográfico. Al ponderar las características físicas del terreno con la aceleración esperada, se asignan pesos y valores específicos a cada variable, estableciendo los rangos y niveles finales del peligro sísmico a lo largo de la Costa Verde.

3.3.1. Análisis de las Condiciones Sísmicas

El área de estudio se encuentra en una zona de alta actividad sísmica debido a la subducción de la placa de Nazca u Oceánica y la placa Sudamericana o Continental. La mayoría de sismos se generan en el océano con profundidades superficiales menores de 70 Km. y los menos recurrentes con origen cordillerano.

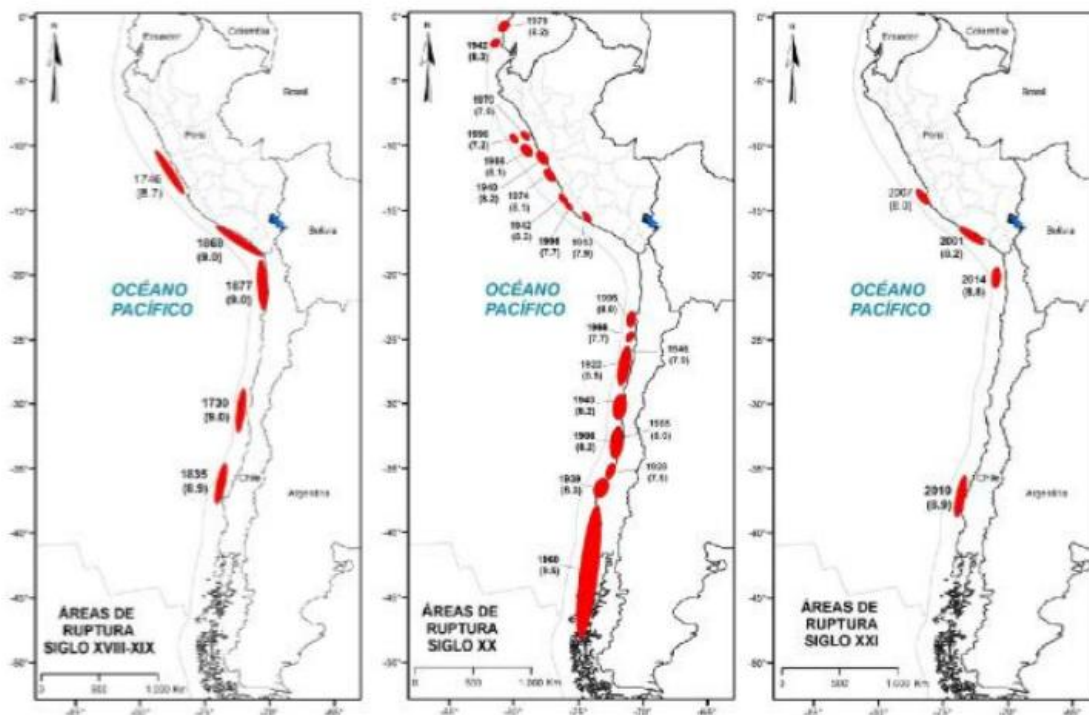
La región que comprende el área de estudio y en general la región del territorio peruano se encuentra influenciada por procesos de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, constituyendo este borde del continente Sudamericano el más activo en sismicidad.

La Placa de Nazca es subducida bajo la Placa Sudamericana a una velocidad de 8 cm por año entre los 02° a los 10°S, de acuerdo con las interpretaciones de Burgois et al (2007). Heras y Tavera (2002) señalan un desplazamiento del orden de 10 cm por año considerando una mayor extensión territorial. Los sismos están asociados al contacto entre placas y los producidos por deformación interna de la corteza continental y oceánica debajo de la Cordillera Andina. El mapa sísmico del Perú muestra la distribución espacial de epicentros basado en información de los años 1964 al 2008 (IGP, 2009),

considerando la profundidad de sismos de foco superficial (0-60 km), de foco intermedio (61-300 km), foco profundo (301-750 km) y la magnitud del momento (M_w). En este mapa se observa que en el borde oriental de la Placa de Nazca y la Fosa Peruano-Chilena frente a Piura existen escasos sismos. Estos escasos sismos son de foco superficial y poseen magnitudes entre V y VIII MM.

Gráfico N° 56: Elemento gráfico referencial de Análisis de las Condiciones Sísmicas

Figura 4. Principales áreas de ruptura de sismos históricos ocurridos en el borde occidental



Fuente: Tavera & Bernal (2005)

Tabla N° 54: Terremotos destructivos ocurridos en el ámbito de estudio

Fuente: IGP.

De acuerdo con el Mapa de Zonificación sísmica para el territorio peruano (Normas Técnicas de edificaciones E.030 para Diseño Sismorresistente), el área de estudio se ubica en la zona 04, cuyas características principales son:

- Sismos de Magnitud VII MM
- Hipocentros de profundidad intermedia y de intensidad entre VIII y IX.
- El mayor Peligro Sísmico de la Región está representado por 4 tipos de efectos, siguiendo el posible orden (Kusin, 1978):
- Temblores Superficiales debajo del océano Pacífico.
- Terremotos profundos con hipocentro debajo del Continente.
- Terremotos superficiales locales relacionados con la fractura del plano oriental de la cordillera de los Andes occidentales.
- Terremotos superficiales locales, relacionados con la Deflexión de Huancabamba y Huaypira de actividad Neotectónica.
- Mapa de zonificación sísmica: Zona de estudio ubicada en la zona 04.

El factor de reducción por ductilidad y amortiguamiento depende de las características del diseño del proyecto y según los materiales usados y el sistema de estructuración para resistir la fuerza sísmica.

Figura N° 5: Zonas Sísmicas



Fuente:IGP

3.3.2. Condiciones Tectónicas y Sismotectónica

Los principales rasgos tectónicos existentes en la región occidental de Sudamérica son la Cordillera Andina y la fosa Peruano-Chilena, ambos relacionados por la convergencia de placas que producen alta actividad sísmica y deformación cortical dentro de un proceso orogénico contemporáneo o relativamente joven. De todos los procesos geodinámicos presentes en Sudamérica, el que considera a la placa de Nazca y Sudamericana permite que la primera se introduzca por debajo de la segunda dentro del proceso conocido como subducción a velocidades medias de 6-8 cm/año. Como resultado de este proceso, se tiene la formación y continúa deformación de la Cordillera Andina, y a la fosa peruano-chilena, y tal como se indicó, producen en el Perú gran número de sismos con focos a diversas profundidades. Dentro de este contexto, los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son:

- La fosa oceánica Peruano-chilena: presente desde el sur de Chile hasta Colombia con orientación aproximadamente paralela y a variadas distancias desde la línea de costa. En algunas regiones como el centro del Perú, alcanza profundidades de hasta 6 km.
- La Dorsal de Nazca: tiene una influencia decisiva en la geodinámica del borde occidental del Perú, al norte de la misma se tiene mayor ocurrencia de sismos de gran magnitud (entre Pisco y

Chimbote) y al sur, menor número de sismos grandes. En la parte oceánica, divide a la fosa en Fosa de Lima y Fosa de Arica.

- La posible porción hundida de la costa (cordillera costanera) al norte de la localidad de Paracas, asociada a un zócalo continental más activo.
- La Cordillera Andina: es el rasgo tectónico más evidente como producto de la interacción de placas y en la actualidad en pleno desarrollo debido a la presencia de esfuerzos netamente compresionales perpendicular a la línea de costa.
- Los sistemas de fallas activas: resultado de la deformación que experimenta la Cordillera Andina y la zona subandina, en la primera se tiene fallas de tipo normales, inversas y de rumbo, y en la segunda, mayormente de tipo inverso con sobrescurrimientos de bajo ángulo.

Figura N° 6: Zona de subducción y tipos de sismos



Fuente: IGP

Específicamente en la zona de estudio, la subducción superficial tiene un ángulo aproximado de 15° en la zona de interfase hasta una profundidad promedio de 80 km, posteriormente la inclinación de la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana se va tomando subhorizontal alcanzando una distancia de 200 km a 350 km desde la fosa, para luego subducir hasta los 700 km de profundidad.

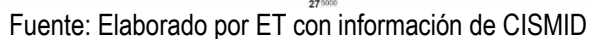
El análisis histórico de la sismicidad en el área de influencia del proyecto demuestra que, en los últimos 400 años, se han registrado eventos telúricos de gran magnitud con intensidades de hasta X en la escala Mercalli Modificada (MMI) dentro de un radio de 100 km.

Para la caracterización del peligro sísmico en los acantilados de la Costa Verde, el estudio compila y sistematiza los eventos históricos más relevantes a partir del trabajo clásico de Silgado y del catálogo del Proyecto Sismicidad de la Región Andina (SISRA), auspiciado por el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS), el cual ha sido actualizado de manera continua por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) para incorporar los sismos significativos más recientes.

3.3.3. Determinación del peligro por sismos

Para la determinación del peligro por movimientos sísmicos en el acantilado de la Costa Verde, se adoptó como referente metodológico la "Evaluación del Peligro Sísmico Probabilístico para el Perú" del

Figura N° 7: Mapa de zonas sísmicas según información de CISMID



3.4. Peligro por Tsunami

El Perú forma parte del Cinturón de Fuego del Pacífico, zona de intensa actividad sísmica y volcánica producto de la interacción de placas tectónicas. La placa de Nazca se subduce bajo la placa Sudamericana a una razón promedio de 8 cm/año, generando un elevado número de sismos de variada magnitud en la costa peruana. Se establece como criterio general que un sismo de magnitud igual o mayor a 7.0 Mw con epicentro en el mar podría generar un tsunami.

Como referencia institucional, para la elaboración de cartas de inundación por tsunami la Dirección de Hidrografía y Navegación toma como base escenarios sísmicos de magnitud 8.5 y 9.0 Mw.

El registro histórico de eventos tsunamigénicos en el Perú central (recopilado en el estudio como antecedente del peligro) documenta, entre otros, los sismos de 1586 (Lima-Callao, 4 m de ola), 1687 (Lima, tsunami con 300 fallecidos), 1746 (Callao, magnitud 9, olas de hasta 10 m, el más destructivo registrado en el Perú central) y 1974 (Lima-Ica, magnitud 8.1). El evento de 1746 es, específicamente, el que se toma como análogo sismotectónico para construir el escenario de fuente sísmica del presente estudio.

3.4.1. Metodología del modelado de peligro

3.4.1.1. Enfoque numérico

El modelado numérico se sustenta en tres procesos secuenciales de la dinámica de tsunamis, trabajados de manera independiente: **generación, propagación e inundación** (Jiménez, 2015; Moreno, 2017; Avalos, 2019).

Se empleó el modelo **TUNAMI-N2**, implementado en lenguajes Fortran y Matlab, que resuelve las ecuaciones de continuidad, conservación de la masa y conservación del momentum lineal en aguas someras, mediante un esquema de diferencias finitas centrales (Goto et al., 1997; Koshimura, 2009).

3.4.1.2. Dominio de cálculo

El área de estudio comprende desde el borde del acantilado hasta 500 m sobre la plataforma continental, a lo largo de los distritos de San Miguel, Magdalena del Mar, San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos. Dada la extensión del litoral, el dominio se dividió en zona norte y zona sur, cada una modelada mediante una grilla computacional independiente.

Tabla N° 55: Para estabilizar el cálculo se implementó un sistema de cinco grillas anidadas (A, B, C, D y E)

Grilla	Latitud (°)	Longitud (°)	Resolución	Proceso asociado
A	-15.00 a -8.00	-82.00 a -75.00	2.673"	Generación
B	-13.00 a -11.00	-78.50 a -76.50	0.891"	—
C	-12.40 a -11.70	-77.50 a -77.68	0.297"	Propagación
D	-12.20 a -12.00	-77.20 a -70.00	0.099"	—
E (zona sur)	-12.19 a -12.11	-77.09 a -77.01	0.033" (≈1 m)	Inundación
E (zona norte)	-12.15 a -12.06	-77.12 a -77.03	0.033" (≈1 m)	Inundación

La grilla A contiene la fuente sísmica propuesta por el IGP y abarca la propagación de las ondas hacia la costa; la grilla E, de mayor resolución (1 m), es donde se calcula específicamente el área de inundación.

La calidad de la información topo-batimétrica fue validada mediante análisis exploratorio de datos con una línea de costa fija; la batimetría cercana a la zona de rompiente se completó por interpolación lineal. La topografía fina fue proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y complementada con el servidor GEBCO 30 y el satélite SRTM 90.

3.4.1.3. Base física del modelado

El fenómeno se describe mediante tres ecuaciones físicas: una de conservación de masa y dos de conservación de movimiento, cuyo balance conjunto determina la propagación del tsunami. La velocidad de las masas de agua se incrementa a medida que la onda se acerca a la costa, en función directa de la batimetría y, ya en tierra, del tipo de pendiente.

Para el proceso de inundación, descrito como el más complejo por tratarse de un problema no lineal, se consideran factores como el rozamiento entre el fluido y el terreno, la interferencia de ondas (interacción flujo-reflujo, con posible formación de vórtices y remolinos) y los efectos de erosión asociados al reflujo, que pueden incrementarse en presencia de pendientes. Los factores de peligrosidad evaluados en este proceso son: la máxima altura de inundación, la distancia de inundación horizontal y la magnitud y directividad del campo de vectores de velocidad del flujo.

La velocidad de propagación del tsunami en aguas someras (donde la longitud de onda es mucho mayor que la profundidad) se calcula mediante:

$$v = 3.6 \sqrt{(g \cdot h)}$$

-Donde 3.6 es el factor de conversión que expresa el resultado en km/h.

3.4.2. Parámetros del peligro obtenidos y su distribución espacial

- **Alturas de ola y áreas de inundación por distrito**

La distribución espacial del peligro por tsunami a lo largo de la Costa Verde muestra una clara variación entre sectores, caracterizándose por una disminución progresiva de las alturas máximas de ola conforme se avanza desde la zona norte hacia la zona sur. Esto convierte al sector norte en el área de mayor concentración de altura de ola, lo que favorece la propagación tsunamigénica.

En la zona norte, San Miguel registra la mayor altura máxima de ola reportada por los mareógrafos virtuales (ubicados a 300–400 m de la línea costera), alcanzando aproximadamente 8 m. Su penetración horizontal llega a unos 70 m, aunque la inundación se encuentra atenuada gracias a la presencia de rellenos cimentados de 3 a 4 m de altura en el borde costero. Por su parte, Magdalena del Mar presenta una inundación sumamente acotada a la franja costera (~20 m), condicionada por la influencia batimétrica en la propagación de la onda. Finalmente, en Miraflores la ola alcanza unos 6 m de altura y se adentra cerca de 80 m horizontalmente, logrando impactar directamente hasta el borde del acantilado en los tramos donde la separación costa-acantilado es menor a 60 m.

En la zona sur, el alcance de la inundación se limita predominantemente a la morfología de la base del acantilado. San Isidro sigue un patrón similar al de Miraflores, registrando distancias de inundación horizontal de entre 60 y 70 m que llegan directamente hasta la base de la pendiente. Hacia Barranco, la inundación también alcanza el borde mismo del acantilado, mientras que en el extremo sur, Chorrillos registra alturas máximas de ola cercanas a los 5 m de acuerdo con los mareógrafos más próximos a dicho sector.

- **Campos de velocidades de flujo por distritos**

En términos espaciales, el modelo tridimensional de velocidades identifica que las mayores velocidades del peligro se ubican en el límite entre San Miguel y Magdalena del Mar, y en Chorrillos; mientras que las menores velocidades se registran frente a la costa sur de San Miguel, en la costa sur de Miraflores y en Barranco. La dirección de la velocidad es, en general, perpendicular a la línea de costa; en la microescala (≈ 1 m alrededor de un objeto impactado) la dirección depende adicionalmente de la velocidad del tsunami, los escombros arrastrados por el agua, la geometría de los objetos cercanos y los efectos de turbulencia. Dentro del área de inundación propiamente dicha, la velocidad está determinada principalmente por la dirección de las calles, que actúan como canales de agua.

Tabla N° 57: El campo de velocidades estimadas se diferenció por subregión (norte, centro, sur) dentro de cada distrito

Distrito	Norte (km/h)	Centro (km/h)	Sur (km/h)
San Miguel	30–35	25–30	20–25
Magdalena	5–10	15–20	5–10
San Isidro	5–10	20–25	20–25
Miraflores	20–25	10–15	15–20
Barranco	10–15	20–25	20–25
Chorrillos	10–15	15–20	15–20

Figura N° 8: Mapa de campo de velocidades estimadas -Costa Verde

3.4.3. Análisis de los factores condicionantes y desencadenantes

- **San Miguel y Magdalena:** Se caracteriza por presentar pendientes de fondo fuertes y oleaje de incidencia directa con baja refracción. Registra la mayor energía incidente en este tramo (alturas promedio de 2.06 m en San Miguel y 1.88 m en Magdalena). Presenta además un litoral alterado antrópicamente: hubo acreción por rellenos (+13.4 m/año y +7.8 m/año), aunque en años recientes muestra erosión o reversión erosiva en el fondo marino (-4 a -12 m/año en Magdalena).
- **San Isidro, Miraflores y Barranco:** Predominan pendientes moderadas con una reducción progresiva de la altura media del oleaje (de 1.94 m a 1.53 m). Miraflores exhibe procesos de refracción moderada con cambios en la dirección del oleaje y un perfil costero relativamente estable (+0.5 m/año), similar a Barranco. En contraste, San Isidro registra un proceso de erosión reciente de -9.3 a -9.8 m/año (2012–2016), a pesar de mantener un transporte constante de sedimentos hacia el noroeste.
- **Chorrillos (Agua Dulce, La Herradura y Playa Villa):** Muestra un comportamiento altamente heterogéneo: mientras que **Agua Dulce** registra la menor altura de ola (0.85 m), el mayor efecto de refracción y un perfil estable, **La Herradura** combina una pendiente fuerte con alturas de 1.23 m, procesos de refracción y una erosión severa; por su parte, **Playa Villa** retoma la incidencia directa del oleaje con alta energía (2.02 m), un transporte de sedimentos convergente y un perfil costero estable.

3.4.3.2. Mecanismo Tsunamica-Sismogénico:

- **Generación del Tsunami:** Evento tsunamigénico asociado a un sismo de magnitud $M_w \geq 7.8$, generado en la interfaz de subducción, con una deformación vertical cosísmica del fondo oceánico a una distancia epicentral local menor a 200 km del litoral de Lima.
- **Escenario Histórico de Referencia:** El terremoto y tsunami del 28 de octubre de 1746, el cual generó olas de entre 15 y 24 m de altura en el Callao, constituyendo el parámetro histórico de mayor severidad registrado para la costa central del Perú.

3.4.4. Análisis Integrado de los Parámetros Oceanográficos y Físicos para la evaluación del peligro por Tsunami.

3.4.4.1. Batimetría, Pendiente del Fondo Marina y Geomorfología Litoral

La configuración del fondo marino y la morfología de la costa son determinantes en la forma en que una onda de tsunami se propaga e ingresa al continente. En el área de la Costa Verde se dispone de veriles medidos a los 5, 10 y 20 metros de profundidad, complementados con 44 secciones transversales levantadas en marzo de 2016. La pendiente submarina varía marcadamente a lo largo de la bahía: presenta una inclinación fuerte en el sector sur (Villa, Punta Chorrillos, La Herradura y La Chira); una pendiente de suave a moderada en el tramo Chorrillos-Barranco-Miraflores-San Isidro; y una inclinación regular en Magdalena y San Miguel.

Esta batimetría (disponible en escalas 1:25,000 y 1:5,000) constituye un insumo básico e indispensable para modelar el comportamiento de las olas del tsunami al acercarse a la costa, considerando cómo el cambio en la profundidad del mar influye en el aumento de la altura de la ola y en su velocidad de propagación. Los sectores del sur donde la pendiente es fuerte y el veril de 20 metros se ubica muy cerca de la línea de costa deben ser considerados como prioritarios para realizar evaluaciones y modelaciones detalladas de inundación.

En la orilla, la clasificación geomorfológica abarca 27 playas compuestas por canto rodado, arena, grava, acantilados y rellenos artificiales. Predominan las playas de canto rodado y grava en la zona centro-norte, mientras que el sector sur es de naturaleza arenosa. En el tramo comprendido entre San Miguel, Magdalena y San Isidro, la costa presenta un frente tipo acantilado conformado por rellenos artificiales. El tipo de material que conforman estos rellenos influye directamente en su comportamiento frente a la erosión producida por el impacto de las olas; particularmente, el comportamiento geotécnico y la estabilidad del acantilado de relleno artificial frente a un proceso de inundación severo representa una condición no evaluada en los modelos de evolución costera convencionales, por lo que demanda una verificación técnica específica.

3.4.4.2. Hidrodinámica: Rotura del Oleaje, Corrientes Marinas y Sedimentología

El modo en que las olas rompen en la Costa Verde revela patrones importantes sobre la energía marina que llega a la ribera. Las observaciones en campo muestran que la rotura es predominantemente de tipo envolvente en la mayor parte del área, a excepción del tramo comprendido entre Punta Codo y el límite de San Isidro con Magdalena, donde se observa una rotura en derrame. Debido a que la rotura envolvente disipa menos energía durante su aproximación a la costa en comparación con la rotura en derrame, la presencia de este tipo de rotura implica que la ola puede conservar una mayor cantidad de energía al momento de alcanzar la orilla.

Por otro lado, las corrientes marinas ordinarias registradas en la bahía presentan velocidades moderadas (entre 5 y 30 cm/s), con un flujo general que ingresa por el sur y avanza hacia el norte, mostrando variaciones direccionales locales en Chorrillos y La Herradura. No obstante, estas corrientes habituales no son representativas de las intensas corrientes de retorno (*backwash*) que genera un tsunami, las cuales alcanzan magnitudes muy superiores y requieren una modelación hidrodinámica independiente.

A nivel sedimentológico, el fondo y las playas exhiben un 52.1 % de composición arenosa, 15.9 % de grava y 8 % de material rocoso, evidenciando una amplia variación granulométrica (con diámetros entre 0.06 mm y 100 mm). En la zona centro-norte, donde predomina el canto rodado, el paso de la onda de tsunami

implica un alto riesgo de erosión y el consecuente arrastre de este material grueso, el cual puede actuar como proyectil y agravar los daños físicos sobre la infraestructura costera.

3.4.4.3. Estructuras de Protección Costera y Dinámica Sedimentaria

El borde costero de la Costa Verde cuenta con diversas obras de ingeniería marina, tales como espigones (en Miraflores y playa Villa), molones (en La Perla), rompeolas y retenedores (en la ensenada de Chorrillos), y muros de concreto (en Mar Brava, Waikiki y Pampilla). Todas estas estructuras han sido diseñadas y evaluadas históricamente bajo escenarios de oleaje ordinario o bravezas de mar, por lo que no existe evidencia documentada sobre su desempeño mecánico o estructural ante la solicitación de un tsunami. En una eventual inundación tsunamigénica, estas obras podrían servir como atenuadores parciales del flujo o, por el contrario, inducir procesos severos de reflexión, turbulencia y socavación a su alrededor.

Respecto al transporte de sedimentos, la bahía posee una capacidad de transporte litoral de entre 100,000 y 300,000 m³/año, alcanzando tasas locales superiores a los 386,000 m³/año en Barranco y 455,000 m³/año en Miraflores, con un flujo predominante hacia el norte y áreas de acumulación en Villa y La Herradura. Si bien estos datos caracterizan el equilibrio morfodinámico habitual de las playas, resultan sumamente valiosos para estimar los procesos de erosión, deposición y capacidad de recuperación del perfil costero tras la ocurrencia de un tsunami (*resiliencia física post-evento*).

3.4.4.4. Régimen de Oleaje Extremo y Bravezas de Mar

Los modelos estadísticos de oleaje extremo en aguas profundas proyectan alturas significativas de ola (H_s) de entre 4.68 y 5.89 metros para periodos de retorno de 2 a 200 años. Al ser modelados en aguas someras por distrito, la energía del oleaje muestra variaciones importantes: alcanza valores desde 1.79 metros en Agua Dulce hasta 5.49 metros en Playa Villa. Los distritos de San Miguel, Magdalena y la zona de Playa Villa se identifican como los sectores expuestos a los mayores niveles de energía por oleaje. Aunque un tsunami de gran magnitud superará ampliamente estos valores, los datos de oleaje extremo constituyen la línea de base histórica de "energía marina conocida" y señalan a San Miguel, Magdalena y Villa como zonas de alta prioridad para la modelación de propagación del tsunami.

Como antecedente de la interacción entre distintas variables marinas, se registran bravezas de mar (oleaje anómalo) durante un 31.44 % de los días del año (aproximadamente 115 días/año). Los máximos impactos de estas bravezas ocurren cuando coinciden con la pleamar (marea alta). Este fenómeno recurrente funciona como un precedente físico comprobado del principio de superposición entre la marea y el oleaje, el cual debe aplicarse obligatoriamente para determinar la cota final de inundación por tsunami.

3.4.4.5. Marea Astronómica, Marea Meteorológica e Incremento del Nivel del Mar

El régimen de marea astronómica en la Costa Verde es de tipo mixto semidiurno (con un factor $SF = 1.18$), lo que significa que se producen dos mareas altas y dos mareas bajas cada día con magnitudes desiguales. El Nivel de Más Alta Marea (NMAM) alcanza los +0.98 metros y la amplitud en sicigias es de 0.97 metros (régimen microtidal). Dado que la marea modifica la altura del agua en todo momento, la cota de inundación por tsunami dependerá de la fase de marea en que ocurra el evento. El escenario de mayor peligro corresponde a la coincidencia del arribo de la onda con el momento de más alta marea astronómica (+0.98 m).

Adicionalmente, se debe considerar el componente meteorológico y de cambio climático. Los registros de los últimos 74 años muestran un incremento histórico del nivel medio del mar de 0.13 metros en El Callao y la bahía de Miraflores, proyectándose un ascenso adicional de +0.39 a +0.43 metros para el periodo 2090-2100. A esto se suma la posibilidad de anomalías de hasta +0.80 metros durante la presencia de un fenómeno de El Niño extraordinario. Este aumento progresivo del nivel base del mar provoca que la cota de partida para el cálculo del *run-up* sea cada vez más alta con el paso de las décadas, expandiendo de manera gradual el área potencialmente inundable ante futuros tsunamis.

Gráfico N° 58: Elemento gráfico complementario de la sección

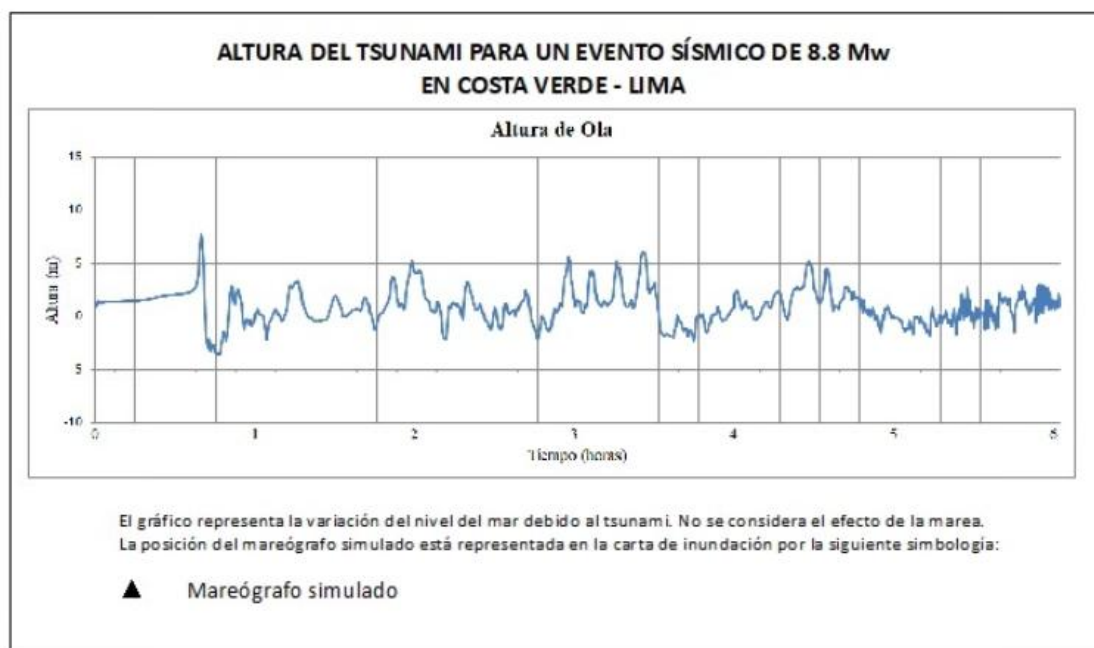
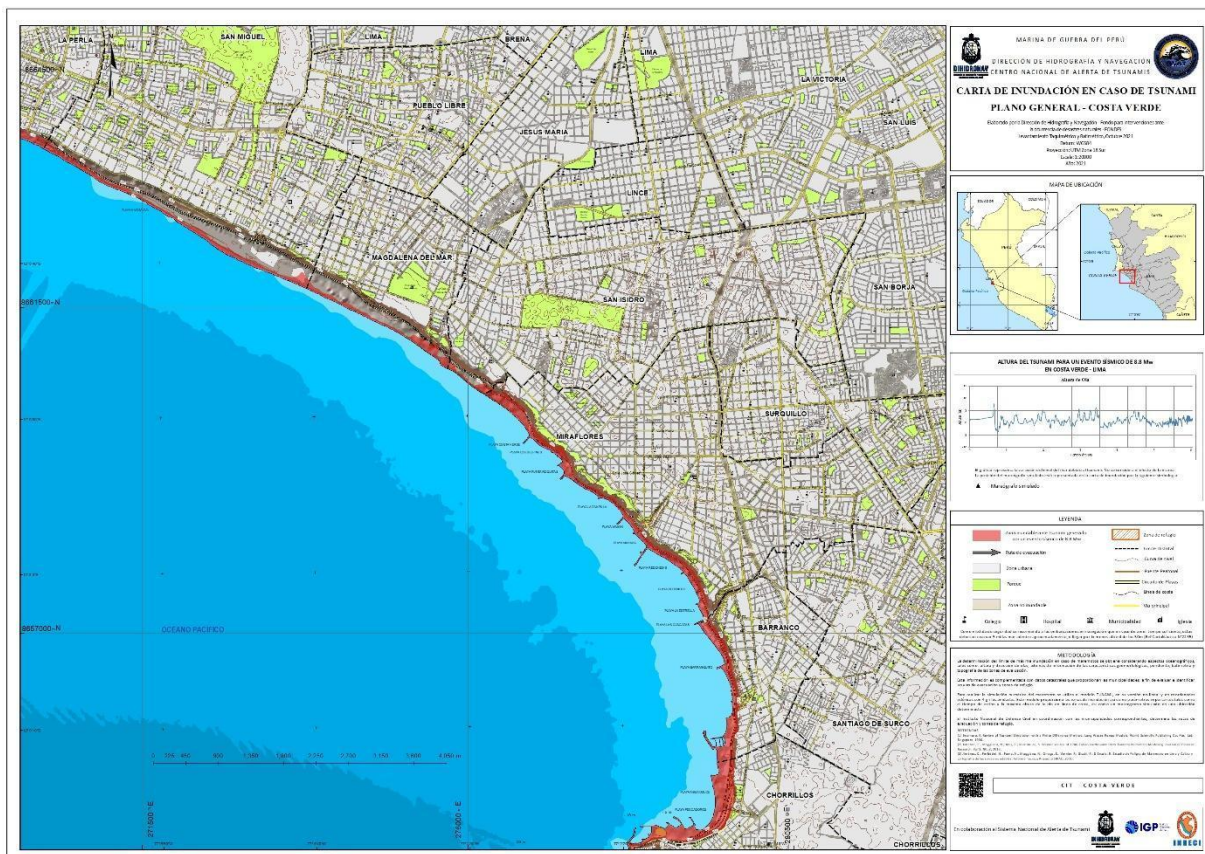


Figura N° 9: Mapa de peligro por tsunami



3.5.1. Peligros por deslizamientos

Los deslizamientos son procesos de movimiento en masa de tipo rotacional o traslacional que afectan principalmente a los sectores del acantilado donde se han realizado intervenciones antrópicas con relleno de material heterogéneo no compactado (desmonte de construcción, escombros), o donde la acción combinada de la erosión basal marina y la saturación hídrica por filtraciones compromete la estabilidad del talud. Los sectores más críticos, conforme a la cartografía de peligros geológicos del INGEMMET, son los ubicados entre los distritos de Magdalena del Mar y San Miguel.

Factores Condicionantes:

- Presencia de depósitos de desmonte y relleno antrópico no compactado: materiales de baja densidad, dispuestos sobre el conglomerado aluvial natural de mayor resistencia mecánica. Esta interface heterogénea constituye una superficie de falla preferente.
- Nivel freático colgado por irrigación: el riego continuo de las bermas de los acantilados en los distritos de Miraflores, San Isidro y San Miguel genera un flujo de agua vertical que satura los rellenos y reduce sustancialmente los esfuerzos efectivos en la masa potencialmente inestable.
- Socavamiento de la base del talud (erosión marina): la erosión basal producida por el oleaje en la cara inferior del acantilado reduce el área de apoyo del pie del talud, incrementando el momento desestabilizador del cuerpo deslizante. Este proceso es especialmente activo en los sectores con orientación SO y NO del litoral.

Factores Desencadenantes:

- Saturación hídrica progresiva de los rellenos antrópicos por percolación de agua de riego o lluvias excepcionales asociadas al FEN: la elevación del nivel freático colgado reduce el Factor de Seguridad (FS) de las laderas de relleno de $FS > 1.5$ (condición seca) a $FS < 1.0$ (condición saturada), desencadenando el deslizamiento.
- Sismo de $M_w > 5.5$: las aceleraciones sísmicas inducidas generan presión de poros excedentaria en los rellenos saturados, reduciendo instantáneamente la resistencia al corte del material y promoviendo la falla súbita.

Gráfico N° 59: Deslizamiento de material del acantilado de la Costa Verde



Fuente:

Equipo Técnico

3.5.2. Peligros por derrumbes, caída de rocas

Las caídas de rocas y desprendimientos de clastos, constituyen el proceso de geodinámica externa de mayor frecuencia de ocurrencia en el sistema de acantilados de la Costa Verde. El mecanismo dominante es la pérdida progresiva de la matriz fina (limos y arcillas) que conglomeran los clastos de tamaño (6 cm – > 25 cm de diámetro), dejando los clastos en condición de equilibrio inestable.

- Unidad litoestratigráfica: Conglomerado aluvial polimíctico del Pleistoceno tardío–Holoceno. Los clastos son de composición variada (granodiorita, andesita, cuarcita, cuarzo), moderadamente redondeados a subredondeados, con diámetros de 2–30 cm y ocasionales bloques de 0.3–1.5 m³. La matriz es limo-arcillosa de baja plasticidad, con índice de meteorización elevado en los primeros 5–10 m del frente expuesto.
- Ángulo del talud: 70°–90° en los frentes de acantilado no intervenidos; localmente subverticales a negativos (con extraplomado) donde la erosión marina basal es activa.
- Altura del talud: 40–80 m sobre el nivel del mar, lo que confiere a los fragmentos en caída libre velocidades de impacto de 28–40 m/s en la base (calculadas por mecánica newtoniana), con energía cinética máxima estimada entre 5 y 150 kJ para clastos de 5–50 kg.

Factores Condicionantes:

- Meteorización diferencial de la matriz fina (erosión pluvial y eólica): la deflación eólica de los granos finos en la superficie del talud expuesto reduce progresivamente la cohesión aparente de la unidad

conglomerádica. Los vientos del sur-suroeste con velocidades de 5–15 m/s son el vector activo de este proceso.

- Fracturamiento vertical y subvertical de la masa de conglomerado: las juntas de desecación y los planos de debilidad de orientación preferente NNO–SSE canalizan la separación de bloques por tracción diferencial.
- Ausencia de cobertura vegetal en el frente del acantilado: impide el anclaje mecánico de los clastos superficiales y facilita la exposición directa a agentes erosivos.

Factores Desencadenantes:

- Vibración antrópica recurrente: el tráfico vehicular pesado sobre la cresta del acantilado (Av. del Ejército, vías de acceso a clubes de playa) y sobre la base (Circuito de Playas — vía rápida litoral) genera vibraciones de baja frecuencia (2–10 Hz) que promueven la fatiga y la desintegración de la trabazón entre clastos y matriz. Estudios de vibración ambiental realizados en sistemas similares reportan aceleraciones inducidas de 0.005g–0.02g en los taludes adyacentes a vías de alto tráfico.
- Humedecimiento diferencial por infiltración de agua de riego: el riego de las bermas y jardines ubicados en la cresta del acantilado genera filtraciones que saturan localmente la matriz limo-arcillosa, reduciendo la cohesión efectiva c' de 15–30 kPa a valores próximos a cero en condición saturada.
- Eventos sísmicos de baja a moderada magnitud (M 4.0–6.0): sismos de magnitud moderada, frecuentes en el litoral de Lima (IGP-CENSIS reporta en promedio 5–10 sismos $M > 4.0$ /año en el mar frente a Lima), pueden provocar desprendimientos masivos en el frente del acantilado.

3.5.3. Peligros por hundimiento y erosión marina

Los peligros por hundimientos identificados en el acantilado de la Costa Verde corresponden principalmente a zonas donde antiguas cárcavas o quebradas naturales fueron rellenadas con material de desmonte sin ningún control geotécnico, generando cuerpos heterogéneos, poco compactados y con alta capacidad de asentamiento diferencial. Este proceso se ve agravado por la saturación progresiva de dichos rellenos debido a la infiltración proveniente del riego constante de jardines y parques ubicados en la plataforma superior del acantilado, lo que reduce aún más su capacidad portante con el tiempo.

Figura N° 10: Áreas de peligro por Hundimientos y erosión marina



Fuente: Elaborado por equipo técnico

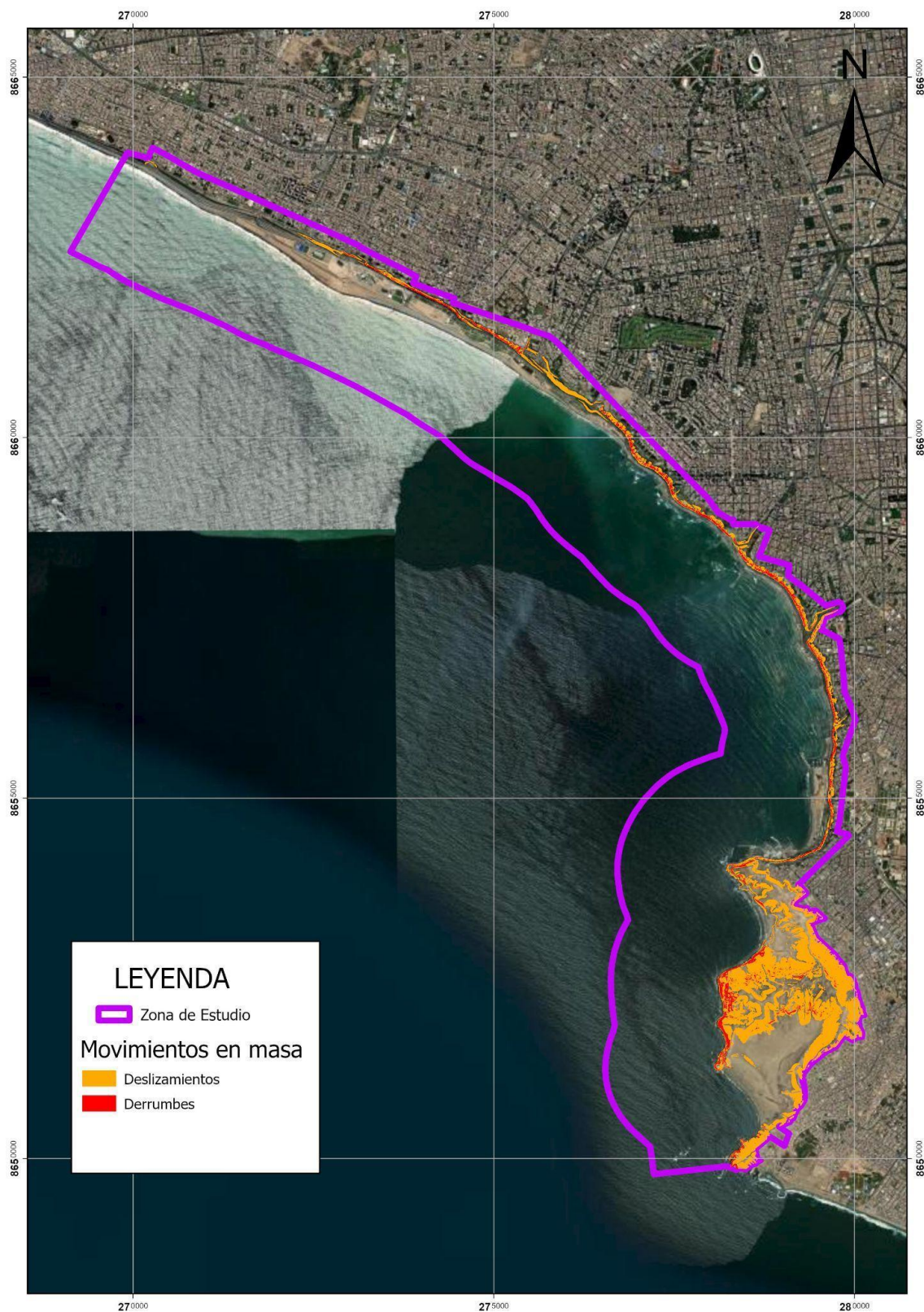
3.5.4. Análisis de síntesis de peligros por movimientos en masa

El acantilado de la Costa Verde presenta una condición de inestabilidad activa y heterogénea, expresada en tres mecanismos de peligro por movimientos en masa claramente diferenciados más interconectados entre sí.

A continuación, se presenta el mapa con la información integrada de los peligros por movimientos en masa identificados en el acantilado de la Costa Verde, correspondientes a caída de rocas, deslizamientos y hundimientos. Dicha distribución evidencia una condición de inestabilidad activa a lo largo del talud, vinculada principalmente a la presencia de agua y a la existencia de rellenos antropogénicos sin control geotécnico. Los sectores de San Miguel y Magdalena del Mar concentran la mayor densidad de zonas críticas, mientras que San Isidro registra la menor incidencia gracias al banqueteo del talud.

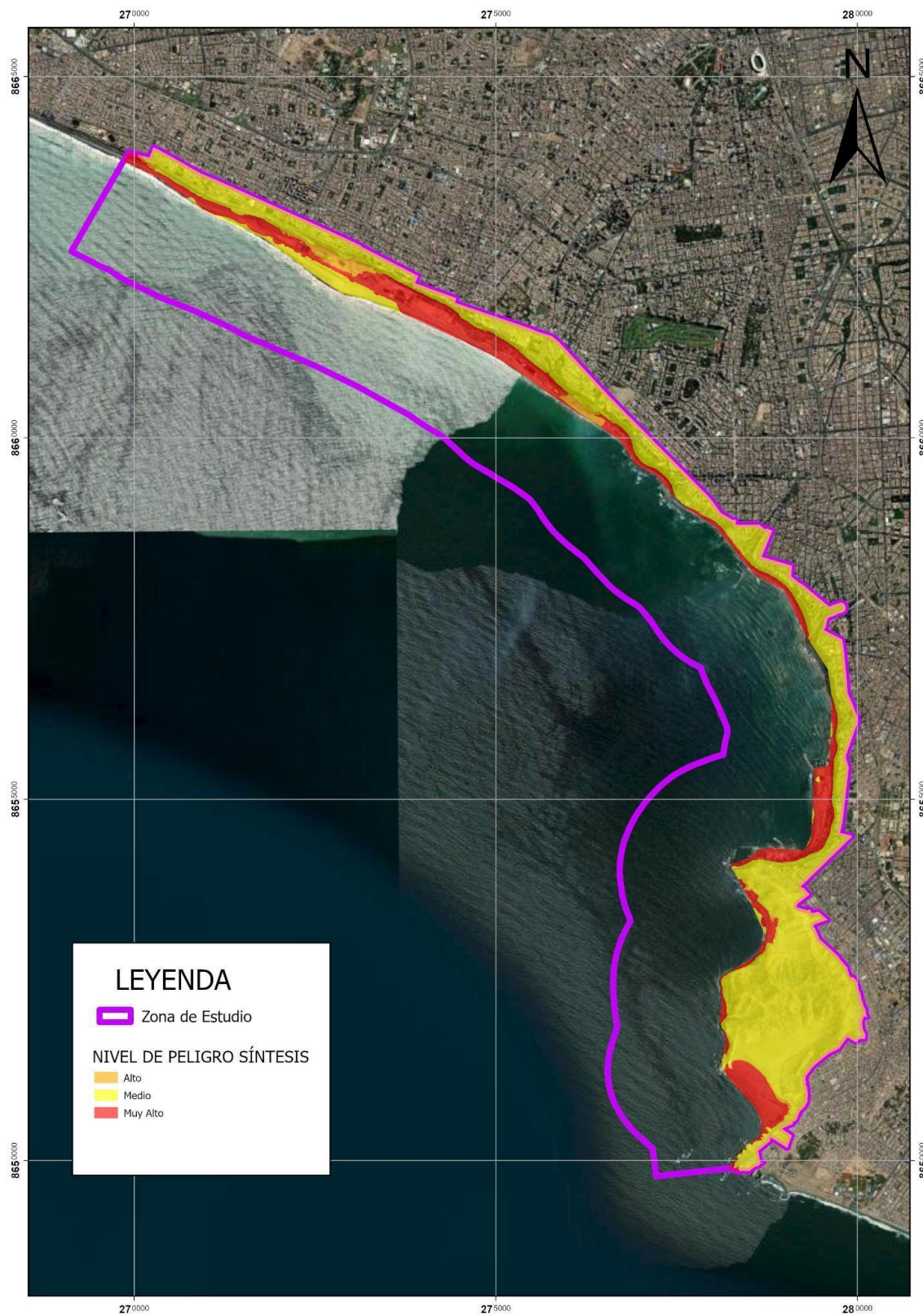
Tipo de peligro	N.º de áreas	% del área
Deslizamientos	538	85.3 %
Derrumbes	387	14.7 %
TOTAL	925	100.0 %

Figura N° 12: Mapa síntesis de peligros por movimientos en masa



Fuente: Equipo Técnico

Figura N° 11: Mapa de peligros síntesis



Fuente: Equipo Técnico

3.6. Identificación de áreas críticas ante peligro por sismos y movimientos en masa

5.7.1. Zonas Críticas ante Movimientos Sísmicos y Fenómenos Asociados

La franja del Acantilado de la Costa Verde presenta una alta susceptibilidad sísmica debido a su geotecnia, caracterizada por materiales aluviales de baja cohesión (gravas y cantos rodados en matriz arenosa), pendientes semi-verticales y la presencia de infraestructura pesada o rellenos no controlados en la corona de los acantilados. Un evento sísmico de gran magnitud no solo representa la amenaza directa de amplificación de la aceleración del suelo, sino que actúa como el detonante principal de fenómenos concatenados como hundimientos, fallas de borde de acantilado e inundación por tsunami en la parte baja de la plataforma costera.

5.7.2. Zonas Críticas ante Peligros por Movimientos en Masa y Dinámica Marina

El análisis territorial identifica un total de 41 zonas críticas distribuidas a lo largo del litoral de la Costa Verde. Estas se clasifican en función del tipo de peligro específico y la combinación de amenazas presentes (geofísicas y meteo-oceanográficas).

A continuación, se sintetiza la distribución espacial y la magnitud en superficie de las áreas afectadas

Gráfico N° 63: Matriz Consolidada de Zonas Críticas por Tipo de Peligro y Áreas Afines

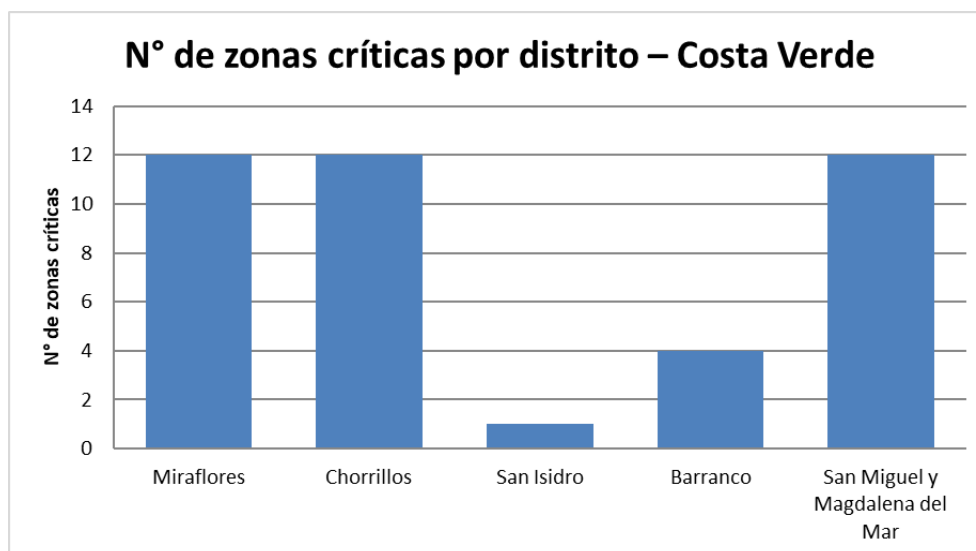


Gráfico N° 64: Elemento gráfico referencial de Zonas críticas ante peligro por sismos y movimientos en masa



Gráfico N° 65: Elemento gráfico referencial de Zonas críticas ante peligro por sismos y movimientos en masa



Fuente: Equipo Técnico

5.7.4. Distribución Territorial de Zonas Críticas por Distrito

La distribución territorial de las zonas críticas a lo largo de los acantilados de la Costa Verde presenta una notable heterogeneidad. Esta variación responde a la interacción entre la morfología del talud, el tipo de material geológico, el nivel de intervención antrópica (sistemas de riego, edificaciones en el borde superior) y las obras de estabilización implementadas:

Tabla N° 59: Datos de Zonas críticas ante peligro por sismos y movimientos en masa

Distrito	N° Zonas Críticas	Superficie Afectada (ha)	Peligros Predominantes
Miraflores	12	129.32	Hundimiento y Tsunami, Derrumbe, Erosión Marina
Chorrillos	12	49.35	Derrumbe y Deslizamiento, Hundimiento y Tsunami
San Isidro	1	3.36	Movimientos en masa / Derrumbes
Barranco	4	2.20	Derrumbe, Derrumbe y Deslizamiento
San Miguel y Magdalena del Mar	12	122.58	Derrumbe, Deslizamiento
TOTAL	41	306.81	Matriz Metropolitana

Elaboración: Equipo Técnico

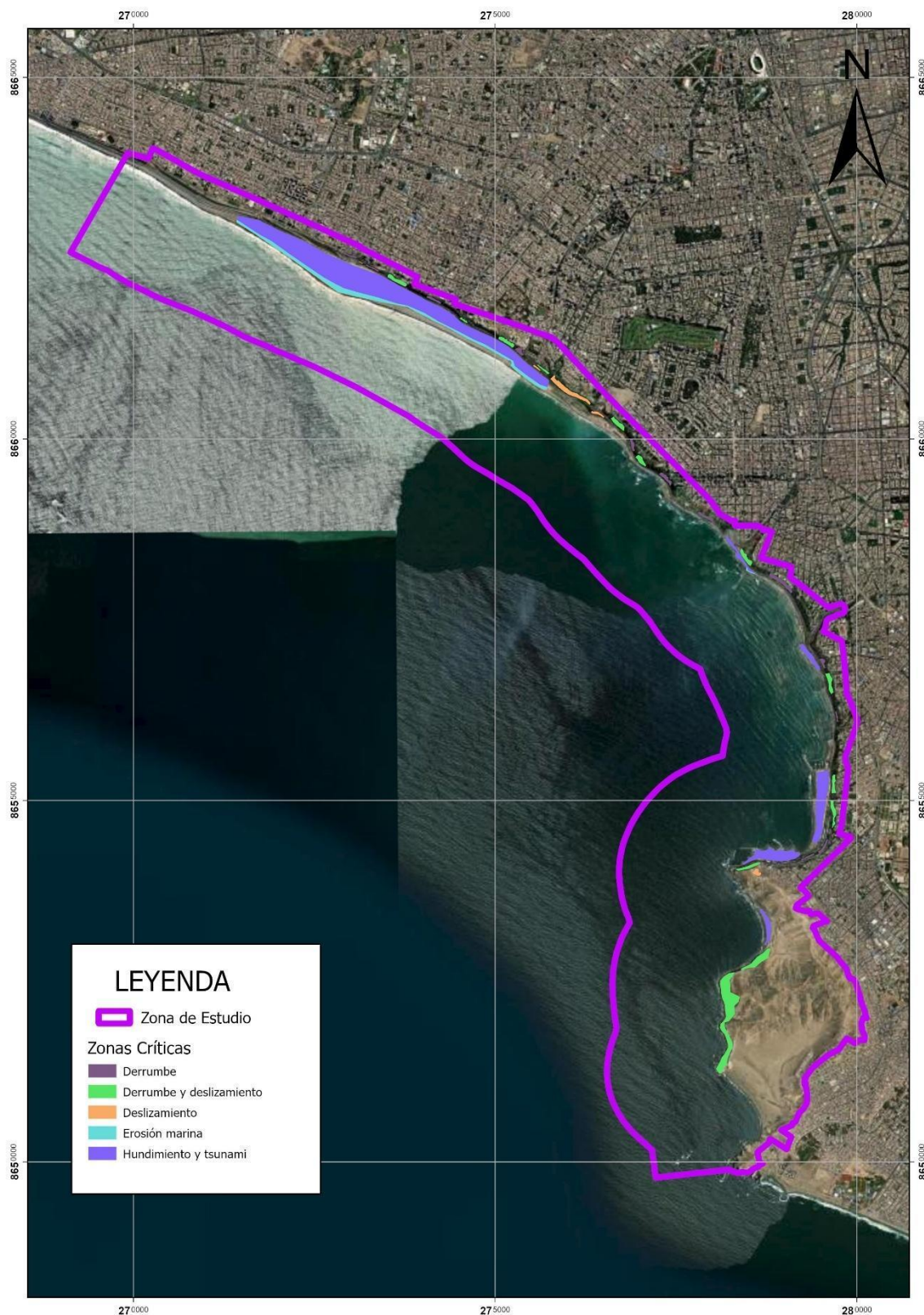
5.7.3. Análisis de Zonas Críticas

En la Costa Verde existe una asimetría clave entre la cantidad de sectores críticos identificados y la superficie territorial que estos ocupan. Por un lado, se evidencia un claro predominio en frecuencia de los movimientos en masa, donde los peligros de derrumbe (15 zonas) y la combinación de derrumbe y deslizamiento (13 zonas) suman conjuntamente 28 zonas críticas, representando el 68.3% del total registrado. Esta concentración refleja una problemática altamente atomizada a lo largo de los acantilados, caracterizada por pequeños desprendimientos de roca y material aluvial que ocurren con alta frecuencia.

Por otro lado, se presenta un claro predominio en superficie del peligro multiamenaza de hundimiento y tsunamis. Aunque esta categoría agrupa únicamente 6 zonas críticas, abarca un área de 127.10 hectáreas, lo que equivale al 67.1% del territorio total en riesgo dentro de la Costa Verde. Esta discrepancia responde a que los polígonos de inundación por tsunami y las fallas masivas de plataforma —como las observadas en los sectores bajos de Miraflores— comprenden franjas continuas de gran extensión territorial, impactando directamente sobre la vía vehicular, el circuito de playas y las áreas recreativas.

Finalmente, la erosión marina muestra una dinámica similar de extensión territorial. A pesar de registrar solo 2 zonas críticas, estas comprenden una extensión considerable, concentrándose principalmente en sectores vulnerables a la socavación continua por efecto del oleaje en el borde costero.

Figura N° 13: Mapa de zonas críticas en la Costa Verde



Fuente: Elaborado por Equipo Técnico.

4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

En marco de la Ley N° 29664 del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y su Reglamento (D.S. N° 048-2011-PCM) se define vulnerabilidad como la susceptibilidad de la población, la estructura

física o las actividades socioeconómicas, de sufrir daños por acción de un peligro o amenaza.

Gráfico N° 67: Exposición de vías y edificios en la Costa Verde



Fuente: Equipo Técnico

La vulnerabilidad es un parámetro importante que sirve para calcular el nivel de riesgo. Bajo ese enfoque el análisis de vulnerabilidad se realiza a partir de los elementos.

4.1. Análisis de la condición actual del sistema vial motorizado

El análisis del sistema vial motorizado se realiza respecto a los componentes del sistema vial motorizado vinculados directamente con el sistema vial semiexpreso del Circuito de Playas, considerando su importante función en la movilidad metropolitana y su condición de ruta principal para el acceso a los servicios y espacios que ofrece la Costa Verde. Desde el enfoque de gestión del riesgo de desastres, resulta necesario evaluar las condiciones que pueden afectar la continuidad y el normal funcionamiento del servicio vial. El análisis comprende la continuidad, conectividad, accesibilidad y condición física de los recorridos, identificando las principales limitaciones y afectaciones que pueden comprometer su funcionamiento. Entre los principales peligros que inciden sobre el sistema se identifican hundimientos, caídas de rocas, derrumbes, deslizamientos y erosión marina, los cuales no necesariamente se presentan únicamente ante escenarios extraordinarios, sino que, en determinados sectores, pueden manifestarse como procesos recurrentes asociados a las propias dinámicas físicas del territorio.

Frente a estas condiciones, la vía cuenta actualmente con diferentes elementos de defensa y protección distribuidos a lo largo de la Costa Verde, cuya función principal es reducir la afectación de los peligros sobre la infraestructura vial. Entre ellos se identifican mallas de protección, cercos perimétricos, pequeños muros

de contención, terraplenes destinados al control y perfilamiento de pendientes y tuberías para conducir o controlar el paso de flujos en determinados sectores de la vía. Sin embargo, estas medidas presentan diferentes niveles de efectividad y, en algunos casos, resultan insuficientes frente a la recurrencia o intensidad de los procesos que afectan el sistema, generando la necesidad de establecer medidas de control, recuperación, reforzamiento y mantenimiento de las defensas existentes, así como soluciones específicas en los sectores donde las condiciones de peligro puedan comprometer la continuidad vial. En este sentido, se identifican las siguientes necesidades de intervención:

Gráfico N° 69: Longitud del sistema vial expuesta a Múltiple peligros

Distrito	Nivel de peligro	Longitud expuesta (km)
Barranco	Alto	2.66
Barranco	Medio alto	4.77
Chorrillos	Alto	3.19
Chorrillos	Medio alto	3.59
Magdalena del Mar	Alto	3.64
Magdalena del Mar	Medio alto	5.02
Miraflores	Alto	4.21
Miraflores	Medio alto	6.96
San Miguel	Alto	1.36
San Miguel	Medio alto	2.79
TOTAL	Alto	15.07
TOTAL	Medio alto	23.13
TOTAL GENERAL	—	38.20

Fuente: Equipo Técnico

El análisis del sistema vial motorizado de la plataforma inferior de la Costa Verde identifica un total de 38,20 km de vías expuestas a múltiples peligros, distribuidos en los distritos de Barranco, Chorrillos, Magdalena del Mar, Miraflores y San Miguel. La mayor longitud expuesta corresponde a Miraflores, con 11,17 km, seguida de Magdalena del Mar con 8,66 km, Barranco con 7,43 km, Chorrillos con 6,78 km y San Miguel con 4,15 km. Al desagregar por nivel de peligro, se identifican 15,07 km en nivel Alto y 23,13 km en nivel Medio alto, evidenciando una mayor extensión de vías expuestas en este último nivel. Si bien gran parte de los tramos presenta una condición de conservación Buena, se identifican sectores en estado Regular, particularmente en accesos como Agua Dulce–Huaylas en Chorrillos y Universitaria en San Miguel, donde la combinación entre condición física y nivel de peligro requiere una atención diferenciada.

Entre las principales problemáticas se encuentran los hundimientos, caída de rocas, derrumbes, deslizamientos y erosión marina, a los que se suma la infiltración y acumulación de agua asociada a las condiciones hidrogeológicas del acantilado y a las limitaciones de los sistemas de drenaje. Estas condiciones pueden generar afectaciones recurrentes sobre la infraestructura vial, particularmente en sectores donde las defensas existentes presentan una capacidad limitada o requieren mantenimiento, reforzamiento o recuperación.

4.1.1. Estado del pavimento y de la señalización

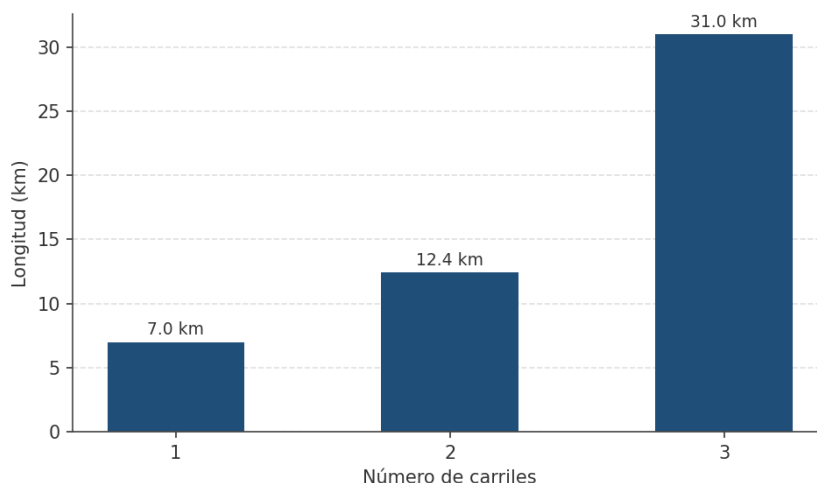
En cuanto a las condiciones físicas de la vía, el 88.4% de la longitud expuesta (44.6 km) presenta un pavimento en estado "Bueno", mientras que el 11.6% restante (5.84 km) se encuentra en estado "Regular". No se registran tramos en estado "Malo", lo que indica una infraestructura vial en condiciones estructurales adecuadas en el ámbito de estudio. Un patrón similar se observa en la señalización horizontal, donde

predominan los tramos calificados como "Bueno" (43.51 km), frente a 6.26 km en estado "Regular" y solo 0.68 km en estado "Malo".

4.1.2. Clasificación vial y capacidad

Según el Sistema Vial Metropolitano (SVM), la mayor longitud corresponde a vías de tipo "Expresa" (31.84 km), seguidas por tramos sin clasificación registrada en la base de datos (16.33 km), vías "Colectoras" (1.96 km) y vías "Locales" (0.31 km). Respecto a la capacidad vial, predominan los tramos de 3 carriles (31 km, 61.5%), seguidos por los de 2 carriles (12.44 km) y de 1 carril (7 km), lo que sugiere que el eje corresponde principalmente a una vía de alta capacidad de flujo vehicular.

Gráfico N° 69: Longitud de vías expuestas según carriles



Fuente: Equipo Técnico

Un aspecto relevante para el análisis de la vulnerabilidad es la ausencia de berma lateral en gran parte del corredor: el 53.4% de la longitud expuesta (26.91 km) no cuenta con berma, frente a solo 8.73 km que sí la poseen. Esta condición podría limitar las maniobras de evacuación o el desplazamiento de vehículos de emergencia en caso de ocurrencia de un evento adverso, por lo que se recomienda considerarla como factor de vulnerabilidad complementario en la evaluación de riesgos.

Asimismo, la infraestructura vial presenta una alta exposición a peligros por movimientos en masa, caída de rocas y eventos sísmicos, debido a la inestabilidad geomecánica de los taludes adyacentes. De acuerdo con los antecedentes, en el área de estudio, diversos tramos de esta vía se han visto recurrentemente interrumpidos y afectados por desprendimientos de material e inestabilidad del terreno, lo que compromete la operatividad del corredor vial ante eventos destructivos.

4.2. Espacios públicos

4.2.1. Parques y áreas verdes

Los parques y áreas verdes representan la categoría más numerosa del inventario (52 elementos, 27 % del total), con 23 registros en nivel alto (44 %) concentrados principalmente en los malecones y parques lineales de Miraflores, Barranco, Chorrillos y San Miguel, en contacto directo con el borde costero. La infraestructura deportiva (20 elementos) presenta la mayor proporción relativa de vulnerabilidad alta entre las categorías de uso masivo (55 %), lo que resulta relevante dado que estos espacios concentran alta afluencia de público en fines de semana y feriados.

4.2.2. Equipamiento de comercio, hospedaje y servicios esenciales

El equipamiento de comercio y gastronomía (46 elementos) es la segunda categoría más numerosa, con 17 registros en nivel alto (37 %), asociados a establecimientos ubicados sobre o muy próximos al malecón. Los servicios esenciales para la respuesta a emergencias, comisarías, compañías de bomberos y establecimientos de salud, suman 9 elementos, de los cuales 2 se encuentran en nivel de vulnerabilidad alto; dada su función crítica durante una emergencia, se recomienda verificar que su operatividad no dependa de accesos que atraviesen zonas de alto riesgo.

4.2.3. Análisis de Playas

La evolución de las playas y del borde litoral de la Costa Verde evidencia una transformación significativa de la superficie costera a lo largo del tiempo, asociada a la configuración y expansión progresiva de la franja litoral. El análisis comparativo entre el periodo 1943–1960, 2021 y 2026 permite identificar los cambios registrados en cada distrito, tanto en términos de superficie como de crecimiento acumulado, pasando de 22,24 ha en el periodo inicial a 35,60 ha en 2021 y 59,32 ha en 2026, lo que representa un incremento absoluto de 37,08 ha respecto al periodo inicial.

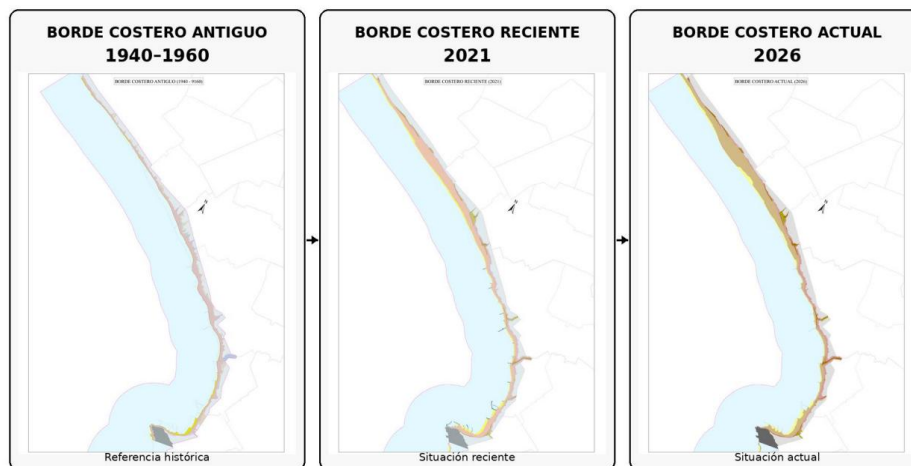
La evolución presenta diferencias importantes entre distritos. Chorrillos registra el mayor incremento absoluto entre 2021 y 2026 (+12,63 ha), mientras que Magdalena presenta el mayor crecimiento porcentual acumulado respecto al periodo 1943–1960 (740,71 %). Asimismo, San Miguel, San Isidro, Miraflores y Barranco muestran comportamientos diferenciados en la transformación de sus superficies litorales. Estos resultados permiten reconocer los sectores con mayor dinámica de cambio y constituyen una referencia para orientar las estrategias de protección, estabilización, recuperación y manejo del sistema de playas y borde costero.

Tabla N° 79: Evolución de playas y borde costero

Distrito	1943–1960 (ha)	2021 (ha)	2026 (ha)	Crec. 1943– 2021 (ha)	Crec. 2021– 2026 (ha)	Crec. 1943–2026 (%)
San Miguel	4,09	12,13	16,41	+8,04	+4,28	301,22 %
Magdalena	1,13	6,18	9,50	+5,05	+3,32	740,71 %
San Isidro	0,48	0,84	2,51	+0,36	+1,67	422,92 %
Miraflores	2,88	6,80	6,64	+3,92	–0,16	130,56 %
Barranco	3,49	5,33	7,31	+1,84	+1,98	109,46 %
Chorrillos	10,17	4,32	16,95	–5,85	+12,63	66,67 %
TOTAL	22,24	35,60	59,32	+13,36	+23,72	166,73 %

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 20: Evolución del litoral de la Costa Verde.



Fuente: Elaboración propia.

a. Estado de conservación e intervenciones estratégicas del Sistema de Playa y Borde Costero.

La intervención de las playas de la Costa Verde se establece considerando de manera integrada su estado de conservación, función y nivel de exposición frente a los procesos marino-costeros, priorizando aquellas áreas donde la erosión, el retroceso de la línea costera o la acción del oleaje puedan comprometer la seguridad de la población, la infraestructura y los espacios de uso público. En este sentido, las medidas propuestas buscan mantener o recuperar la capacidad de las playas para contribuir a la defensa natural de la línea costera, complementando, cuando sea necesario, con acciones de protección y estabilización.

Asimismo, la intervención se diferencia según el uso y la importancia territorial de cada playa. Las playas de uso recreativo intensivo requieren especial atención debido a la concentración de población y actividades, mientras que las playas de uso extensivo o en condición natural priorizan la conservación de su función ambiental y protectora. Bajo este criterio, las acciones comprenden conservación, mantenimiento, recuperación, reforzamiento y estabilización, orientadas a reducir el riesgo sin comprometer las características ambientales, paisajísticas y funcionales del sistema de playas.

Distrito	Estado	Playa / sector	Área (ha)
Chorrillos	Bueno	Club Regatas 1, 2, 3 y 4	2,96
	Regular	Agua Dulce y Las Sombrillas	8,47
	Malo	La Herradura	1,07
	Natural	Boca de Lobo, Caplina y La Chira	4,45
Barranco	Malo	Barranco, Los Pavos y Barranquito / Las Cascadas	2,16
	Regular	Los Yuyos	2,04
Miraflores	Malo	Redondo I, Redondo II, Pampilla y Punta Roquita	2,92
	Regular	Makaha y Waikiki	0,64
	Malo	Los Delfines, Tres Picos y La Estrella	0,85
	Malo	Tierras ganadas al mar – Sectores 1 y 2	2,23
San Miguel	Malo	Tierras ganadas al mar – Sector 1	16,41
	Malo	Tierras ganadas al mar – Sector 2	0,85
Magdalena	Malo	Tierras ganadas al mar	9,50

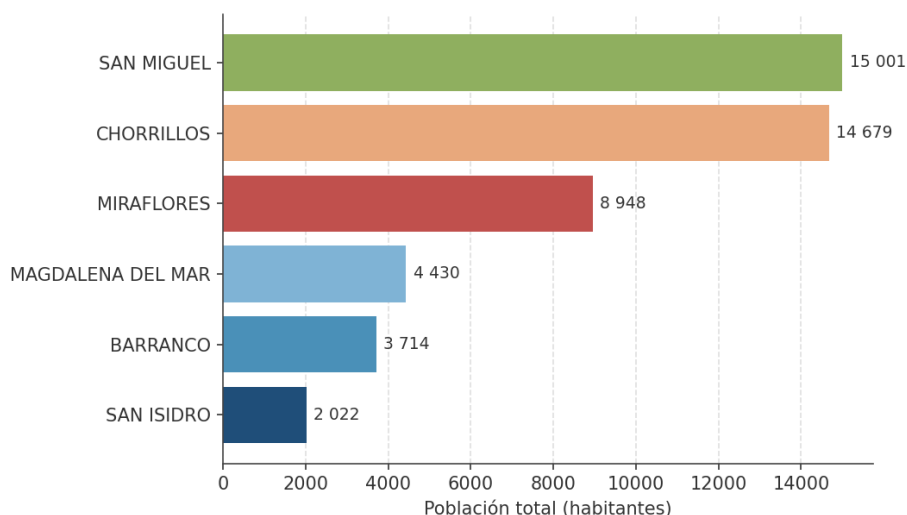
Fuente: Elaboración propia.

4.3. Análisis de Viviendas y población expuestas

La evaluación de la población expuesta se realizó a nivel de manzana censal, identificando 383 manzanas dentro del área de estudio, distribuidas en 6 distritos (Barranco, Chorrillos, Magdalena del Mar, Miraflores, San Isidro y San Miguel). La población total expuesta asciende a 48,794 habitantes, conformada por 22,995 hombres (47.1%) y 25,799 mujeres (52.9%). Asimismo, se identificaron 20,269 viviendas particulares dentro del área de influencia.

A nivel distrital, la mayor concentración de población expuesta se registra en San Miguel, Chorrillos, Miraflores, distritos que en conjunto agrupan a más del 79% de la población total expuesta. Le siguen Magdalena del Mar (4,430 hab.), Barranco (3,714 hab.) y San Isidro, este último con la menor población expuesta del ámbito (2,022 hab.).

Gráfico N° 70: Población expuesta por distrito

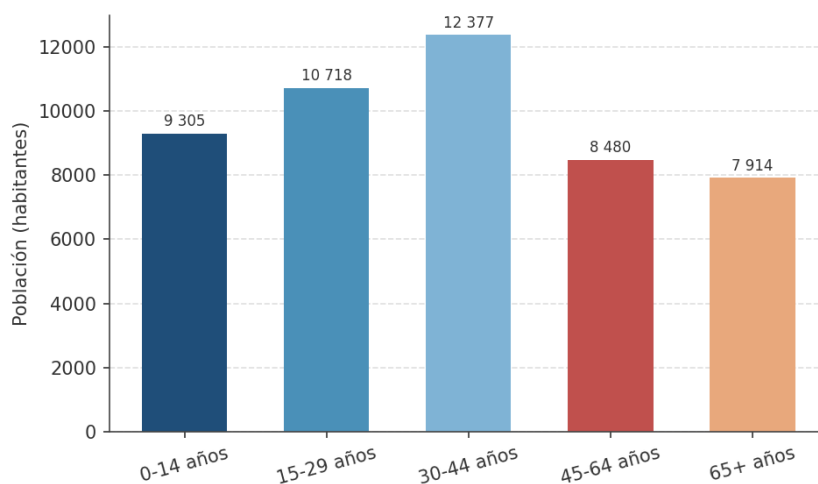


Fuente: Equipo Técnico con información de INEI 2017.

4.3.1. Estructura etaria

La estructura por edades muestra que el grupo de 30 a 44 años es el más numeroso (12,377 hab.), seguido por el de 15 a 29 años (10,718 hab.). De especial relevancia para la gestión del riesgo es la población considerada más vulnerable ante emergencias, niños de 0 a 14 años y adultos mayores de 65 años, que en conjunto representan el 35.3% del total de la población expuesta (17,219 habitantes), grupo que requiere atención prioritaria en los planes de respuesta y evacuación.

Gráfico N° 71: Estructura etaria de la población expuesta

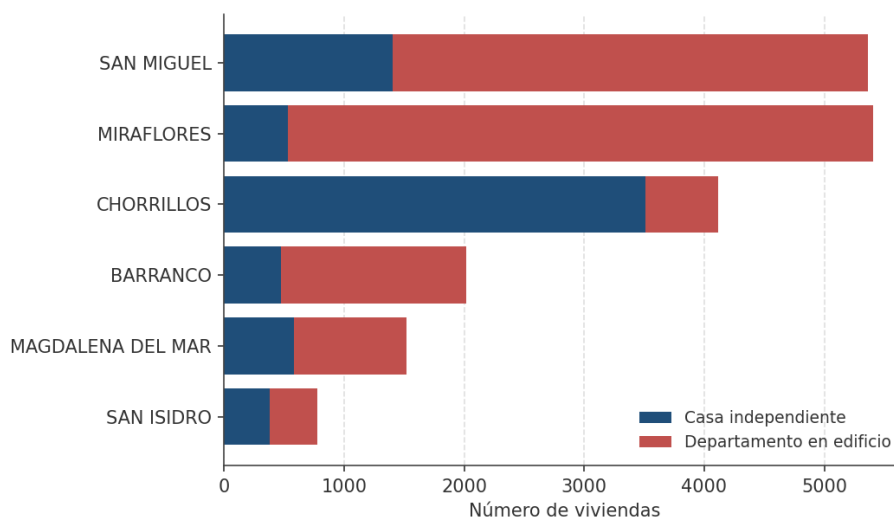


Fuente: Equipo Técnico con información de INEI 2017.

4.3.2. Tipología de vivienda

Respecto a la tipología edificatoria, predominan los departamentos en edificio (12,322 unidades, 64.2% del total de viviendas identificadas) sobre las casas independientes (6,880 unidades). Este predominio de vivienda multifamiliar es especialmente marcado en Miraflores y San Miguel, mientras que en Chorrillos predomina claramente la vivienda unifamiliar (casa independiente), lo que sugiere estrategias de evacuación y respuesta diferenciadas según la densidad y tipología constructiva de cada distrito.

Gráfico N° 72: Tipo de viviendas expuestas por distrito



Fuente: Equipo Técnico

Tabla N° 61: Resumen de población y viviendas expuestas por distrito

Distrito	Población	Viviendas	Manzanas
San Miguel	15,001	5,956	44
Chorrillos	14,679	4,271	210
Miraflores	8,948	5,563	51
Magdalena del Mar	4,430	1,589	27
Barranco	3,714	2,103	31
San Isidro	2,022	787	20
Total	48,794	20,269	383

Fuente: Equipo Técnico

Tabla N° 61: Vulnerabilidad a nivel de lotes en el ámbito de estudio



Fuente: Equipo Técnico

4.4. Espigones

Conjunto de obras de protección costera construidas progresivamente durante las últimas décadas, conformadas principalmente por espigones destinados a controlar el transporte longitudinal de

sedimentos, proteger sectores del litoral y favorecer la estabilidad de las playas. De acuerdo con el Informe Técnico de INGEMMET (2022), se identificaron 27 espigones existentes en tres distritos, cifra que, tras la revisión de campo, se actualizó a 25 estructuras.

Estas obras fueron ejecutadas en distintos períodos y bajo criterios de diseño específicos, respondiendo principalmente a necesidades locales, por lo que actualmente funcionan de manera independiente y no conforman un sistema integral de protección costera para la bahía. Asimismo, en Magdalena del Mar y San Miguel las estructuras previstas en planes anteriores no llegaron a ejecutarse, manteniéndose tramos del litoral con limitada protección frente a los procesos marino-costeros.

4.4.1. Caracterización de la infraestructura existente

Los espigones existentes en la Costa Verde se distribuyen de manera heterogénea a lo largo del corredor ribereño, concentrándose principalmente en los distritos de Chorrillos, Barranco y Miraflores, donde históricamente se ejecutaron intervenciones para controlar la erosión marina, favorecer la estabilización de playas y proteger la infraestructura emplazada en la plataforma inferior. Estas estructuras fueron construidas en diferentes periodos y bajo criterios de diseño particulares, por lo que presentan diferencias en su longitud, configuración geométrica y nivel de protección.

Según el Informe Técnico de INGEMMET (2022), se identificaron la distribución de las siguientes estructuras en funcionamiento:

Tabla N° 70: Distribución de espigones

Distrito	N.º de espigones	Longitudes identificadas de espigones	Área Ganada	Sectores principales
Chorrillos	09	15–290 m	2.23 ha	Agua Dulce, Pescadores, Club Regatas y entorno La Chira–La Herradura
Barranco	06	33–435 m	1.71 ha	Base del acantilado y playa Barranco
Miraflores	10	100–328 m*	1.66 ha	Facundo, Los Delfines y otros sectores del litoral
Total	25	—	5.60 ha	Chorrillos, Barranco y Miraflores

Fuente: Elaboración propia tomando datos de INGEMMET (2022)

Tabla N° 71: Sectores sin espigones ejecutados

Sector	Situación actual	Condición estratégica
Magdalena del Mar	Los espigones en “L” previstos en el Plan Maestro de 1995 no fueron ejecutados. Existen sectores conformados mediante rellenos costeros.	Evaluar alternativas de protección y estabilización del borde costero.
San Miguel	Al igual que Magdalena, no se ejecutaron los espigones proyectados; existen tramos con rellenos costeros.	Priorizar evaluación de estabilidad y protección frente a procesos marino-costeros.

Fuente: Elaboración propia tomando datos de INGEMMET (2022)

4.4.2. Estado de conservación de los espigones existentes

El sistema de protección costera de la Costa Verde presenta un estado de conservación heterogéneo. De las 27 estructuras registradas, 12 se encuentran en estado bueno (44,4 %), 9 en estado regular (33,3 %) y 6 en estado malo (22,2 %). En conjunto, el 55,6 % presenta una condición regular o mala, evidenciando la necesidad de establecer acciones diferenciadas de mantenimiento, reforzamiento y rehabilitación para asegurar su desempeño y continuidad funcional.

Por distrito, Chorrillos concentra 9 estructuras, de las cuales 7 están en buen estado, 1 en regular y 1 en malo; Barranco registra 6, con 3 en buen estado, 2 en regular y 1 en malo; mientras que Miraflores concentra 12 estructuras, con 2 en buen estado, 6 en regular y 4 en malo. Las principales condiciones identificadas corresponden al desgaste y desplazamiento del enrocado, exposición de los cabezos al oleaje, erosión y posible socavación, además de alteraciones en la dinámica sedimentaria y reducción del ancho de playa en determinados sectores. Esta situación evidencia la necesidad de evaluar las estructuras no solo por su condición física, sino también por su funcionalidad dentro del sistema de protección del borde costero.

Situación por sectores

Chorrillos: Presenta espigones que han permitido la conformación de playas; sin embargo, existen sectores con limitada protección frente a la erosión marina, especialmente entre La Chira y La Herradura, donde predominan taludes inestables y afloramientos rocosos.

Tabla N° 72: Espigones en Chorrillos

Código	Infraestructura	Función principal	Estado	Condición crítica
Esp-CH-1	Espigón Playa Agua Dulce	Estabilización de playa y control de sedimentos	Regular	Desgaste del enrocado y asentamientos locales
Esp-CH-2	Muelle de Pescadores de Chorrillos	Actividad pesquera, embarque y recreación	Bueno	Corrosión y deterioro superficial
Esp-CH-3	Muelle Principal – Club Regatas Lima	Actividad náutica, deportiva y recreativa	Bueno	Corrosión y desgaste por ambiente marino
Esp-CH-4	Espigón Club Regatas Lima N.º 2	Protección costera y estabilización de playa	Bueno	Desgaste y posible desplazamiento de bloques
Esp-CH-5	Rompeolas Exterior Oeste	Protección frente al oleaje y abrigo portuario	Bueno	Oleaje extremo y posible socavación
Esp-CH-6	Rompeolas Norte	Reducción del oleaje interior	Bueno	Desgaste y pérdida puntual de bloques
Esp-CH-7	Dique Interior Sur	Protección y estabilización de ribera	Bueno	Desgaste y erosión localizada
Esp-CH-8	Dique Interior Este	Protección de playa y control hidrodinámico	Bueno	Abrasión y acumulación de sedimentos
Esp-CH-9	Espigón Las Gaviotas – La Herradura	Estabilización de playa y control de erosión	Malo	Desgaste del enrocado y pérdida potencial de bloques

Fuente: Elaboración propia

Barranco: Las estructuras existentes protegen parcialmente el borde costero y la vía del Circuito de Playas; no obstante, se identifican sectores donde el deterioro de las defensas favorece procesos de erosión y socavación del pie del acantilado.

Tabla N° 73: Espigones en barranco

Código	Infraestructura	Función principal	Estado	Condición crítica
Esp-B-	Espigón Playa	Protección costera, control de	Bueno	Desgaste del cabezo y posible

1	Los Pavos	sedimentos y estabilización de playa		desplazamiento de bloques
Esp-B-2	Espigón Playa Barranco	Protección puntual y estabilización de la playa	Regular	Longitud limitada, baja retención de sedimentos y desgaste del enrocado
Esp-B-3	Espigón Playa Barranco Norte – Baños de Barranco	Protección puntual y estabilización local de la playa	Malo	Longitud reducida, erosión persistente y playa estrecha
Esp-B-4	Espigón Playa Yuyos	Protección costera, disipación del oleaje y retención de sedimentos	Regular	Desgaste del enrocado y reducción de la capacidad de retención
Esp-B-5	Rompeolas Principal – Lima Marina Club	Protección del puerto deportivo y generación de zona de abrigo	Bueno	Exposición al oleaje y desgaste del enrocado del cabezo
Esp-B-6	Rompeolas Norte – Lima Marina Club	Protección de la dársena y reducción del ingreso del oleaje	Bueno	Acumulación de sedimentos y exposición al oleaje frontal

Fuente: Elaboración propia

Miraflores: Cuenta con el mayor número de espigones del corredor; sin embargo, algunas estructuras requieren rehabilitación para recuperar su capacidad funcional, particularmente en el sector de la playa Los Delfines y otros puntos donde el oleaje continúa afectando el borde costero.

Tabla N° 74: Espigones de Miraflores

Código	Infraestructura	Función principal	Estado	Condición crítica
Esp-M-1	Espigón Playa Los Delfines	Control de sedimentos y protección costera	Regular	Alta exposición al oleaje y posible socavación
Esp-M-2	Espigón Tres Picos	Protección costera y estabilización de playa	Regular	Playa angosta, baja retención de sedimentos y posible socavación
Esp-M-3	Espigón Punta Roquitas	Protección costera, disipación del oleaje y protección del acceso	Bueno	Desgaste del manto y posible socavación localizada
Esp-M-4	Espigón La Pampilla	Control de sedimentos y protección de borde, vía y espacios públicos	Regular	Desgaste, playa reducida y posible socavación
Esp-M-5	Espigón Waikiki	Control de sedimentos, disipación del oleaje y protección de playa e infraestructura	Regular	Oleaje de alta energía, desgaste y posible socavación
Esp-M-6	Espigón Makaha	Protección costera, estabilización de playa y protección vial	Malo	Desgaste, posible socavación y alta exposición de infraestructura
Esp-M-7	Espigón La Rosa Náutica	Protección costera y soporte de acceso e infraestructura turística	Bueno	Desgaste del enrocado y posible socavación
Esp-M-8	Espigón Playa Redondo I	Estabilización de playa y control de sedimentos	Malo	Erosión, desgaste y posible socavación en la base
Esp-M-9	Espigón Playa La Estrella – Piedritas	Estabilización de playa y protección del borde costero	Malo	Colmatación, desgaste y posible socavación
Esp-M-10	Espigón Bordemar (Las Cascadas)	Protección costera, estabilización de playa y soporte recreativo	Regular	Corrosión, deterioro del paseo y desgaste del enrocado

Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis de sistema de enrocados

El sistema de defensa costera mediante enrocados en la Costa Verde constituye una infraestructura de protección conformada por la colocación ordenada y estable de elementos pétreos de gran tamaño,

dispuestos principalmente para proteger el borde costero, controlar los procesos de erosión y resguardar taludes, plataformas e infraestructura emplazada en la terraza baja. A diferencia de los espigones, cuya función principal es modificar la dinámica del transporte litoral mediante estructuras transversales a la costa, los enrocados actúan como defensas longitudinales, orientadas a disipar y reducir la energía del oleaje incidente y limitar su acción erosiva sobre el borde protegido.

Por su función, los enrocados han constituido un elemento fundamental en la configuración y protección de diversos sectores de la Costa Verde, contribuyendo a preservar vías, malecones, muelles, espacios recreativos, estacionamientos y áreas de tierra ganada al mar. Sin embargo, la condición actual de estos sistemas presenta diferentes niveles de conservación y desempeño, identificando sectores con deterioro, pérdida de continuidad o necesidad de recuperación y mantenimiento. Esta situación, asociada a la dinámica marina y a la exposición permanente del borde costero, evidencia la necesidad de evaluar integralmente su estado, alcance y función de protección, a fin de orientar las intervenciones y establecer prioridades de actuación.

A continuación, se presenta un análisis detallado de este sistema de enrocado existente:

- **Distribución según distrito.**

La distribución de las estructuras de protección evidencia una concentración diferenciada a lo largo del litoral de la Costa Verde. De las 10 estructuras identificadas, con una longitud acumulada aproximada de 1 374,6 m, el distrito de Chorrillos concentra 6 estructuras (52,2 % de la longitud total), mientras que Barranco y Miraflores cuentan con 2 estructuras cada uno, representando el 26,3 % y 21,5 %, respectivamente. Esta distribución permite reconocer los sectores con mayor presencia de infraestructura de protección y cuales tienen déficit por diferentes condiciones.

Tabla N° 76: Distribución del sistema de enrocados existentes

Distrito	Estructuras	Longitud aprox.	Participación	Principales sectores
Chorrillos	6	718,4 m	52,2 %	La Herradura Club, Club Regatas, Terminal Pesquero, Malecón Agua Dulce y Playa Sombrillas
Barranco	2	361,2 m	26,3 %	Bajada de Baños 1 y Bajada de Baños 2
Miraflores	2	295,0 m	21,5 %	Parque Tres Picos 1 y Parque Tres Picos 2
Total	10	1 374,6 m	100 %	—

Fuente: Elaboración propia

- **Estado de conservación e intervenciones estratégicas del Sistema de Enrocados**

El sistema de enrocados constituye un componente de protección del borde costero y de la terraza baja, destinado principalmente a proteger infraestructura y espacios estratégicos frente a la acción marina y los procesos erosivos. En el ámbito evaluado se identifican 10 tramos, con una longitud acumulada aproximada de 1 374,6 m, distribuidos en Chorrillos (6 tramos y 718,4 m), Barranco (2 tramos y 361,2 m) y Miraflores (2 tramos y 295,0 m). Los tramos presentan longitudes variables, entre aproximadamente 45 y 260 m, y conforman protecciones lineales continuas o localizadas según las características de cada sector. Los principales elementos protegidos corresponden a vías, malecones, muelles, estacionamientos, restaurantes, espacios recreativos, ZRP y sectores de tierra ganada al mar.

Respecto a su estado de conservación, 5 tramos presentan condición mala, 3 regular y 2 buena, por lo que se requieren intervenciones diferenciadas según el nivel de deterioro, exposición y función territorial. La estrategia predominante corresponde a la recuperación, complementada con acciones de mantenimiento y confinamiento. En este sentido, la orientación de intervención considera no solo la condición física del enrocado, sino también el alcance de protección y la importancia del elemento que

resguarda, priorizando la recuperación de los sectores deteriorados, el mantenimiento de aquellos que conservan condiciones funcionales y el confinamiento.

Tabla N° 75:Estructuras existentes

Código	Distrito	Sector	Longitud (m)	Elemento protegido	Estado	Dimensión / alcance de protección	Función de protección
ER-01	Chorrillos	La Herradura Club	150.9	Vía del club	Malo	Protección lineal de aproximadamente 151 m frente a la acción marina	Evitar erosión y pérdida de la plataforma vial
ER-02	Chorrillos	Club Regatas	182.5	Vía del club	Bueno	Tramo continuo de aproximadamente 183 m	Proteger la vía y mantener su funcionalidad
ER-03	Chorrillos	Club Regatas	90.9	Vía del club	Bueno	Tramo de aproximadamente 91 m	Reducir la exposición de la vía a erosión marina
ER-04	Chorrillos	Terminal Pesquero	44.9	Muelle	Regular	Protección localizada de aproximadamente 45 m	Proteger infraestructura vinculada a las actividades pesqueras
ER-05	Chorrillos	Malecón Agua Dulce	135.3	Malecón y acceso al muelle	Malo	Tramo de aproximadamente 135 m	Proteger infraestructura de circulación y acceso frente a la erosión marina
ER-06	Chorrillos	Playa Sombrillas	113.9	Tierra ganada al mar	Malo	Protección lineal de aproximadamente 114 m	Confinar y proteger el borde de la terraza baja
ER-07	Barranco	Bajada de Baños 1	101.5	Malecón	Malo	Tramo de aproximadamente 102 m	Proteger el borde del malecón y evitar retroceso de la línea costera
ER-08	Barranco	Bajada de Baños 2	259.7	Malecón, estacionamiento y restaurante	Regular	Tramo de aproximadamente 260 m con múltiples elementos expuestos	Proteger infraestructura urbana, accesibilidad y actividades recreativas
ER-09	Miraflores	Parque Tres Picos 1	154	Malecón, estacionamiento y ZRP	Regular	Tramo de aproximadamente 154 m	Proteger infraestructura urbana y espacio público recreativo
ER-10	Miraflores	Parque Tres Picos 2	141	Malecón, estacionamiento y ZRP	Malo	Tramo de aproximadamente 141 m	Proteger infraestructura urbana, estacionamiento y áreas recreativas

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 20: Mapa Distribuciones del Sistema de Enrocado Existente



Fuente: Elaboración propia.

4.6. Análisis de red de ciclovías

El cuadro presenta una síntesis de la condición actual de la red de ciclovías del Circuito de Playas de la Costa Verde, identificando los sectores afectados por peligros y su horizonte de intervención. En total, se registran 17,21 km de longitud afectada, distribuidos en seis distritos: Barranco (1,90 km), Chorrillos (0,44 km), Magdalena del Mar (4,56 km), Miraflores (4,11 km), San Isidro (0,71 km) y San Miguel (5,49 km). El hundimiento constituye el principal peligro identificado y se encuentra presente en todos los distritos, mientras que la erosión marina, asociada también al hundimiento, se concentra principalmente en Barranco y Miraflores, con una atención prevista a corto plazo. En cuanto a la conservación, predominan los tramos en estado regular, aunque también se identifican sectores en buen estado, principalmente en San Miguel y Miraflores. Estos resultados permiten reconocer los sectores con mayor extensión afectada y establecer una base para orientar las acciones de control, intervención y monitoreo del sistema vial no motorizado.

Tabla N° 75: Condición de la ciclovía según distrito, peligros y horizonte de intervención

Distrito	Estado de conservación	Peligro	Horizonte	Longitud afectada (km)
Barranco	Regular	Hundimiento	Mediano	1.68
	Regular	Erosión marina + hundimiento	Corto	0.22
Chorrillos	Regular	Hundimiento	Mediano	0.44
Magdalena del Mar	Regular	Hundimiento	Mediano	4.56
Miraflores	Regular	Hundimiento	Mediano	1.51
	Regular	Erosión marina + hundimiento	Corto	1.23
	Bueno	Hundimiento	Mediano	0.25
	Regular	Hundimiento	Mediano	1.12
San Isidro	Regular	Hundimiento	Mediano	0.71
San Miguel	Bueno	Hundimiento	Mediano	3.30
	Regular	Hundimiento	Mediano	2.19
TOTAL	—	—	—	17.21

Fuente: Equipo Técnico

4.7. Análisis de Puentes existentes

Los puentes peatonales evaluados se distribuyen entre los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel, articulando principalmente el acceso entre la parte superior de la Costa Verde y las playas. Los sectores de Chorrillos y Miraflores, vinculados a espacios de playa como Agua Dulce, Los Delfines, Punta Roquitas, Balta y Redondo, presentan una importancia particular por su uso recreativo y afluencia de visitantes. En estos sectores se identifican puentes con estado de conservación regular, como Bajada Agua Dulce, María Reiche–Playa Los Delfines, Bajada Balta y Playa Redondo–Acceso Armendáriz, lo que adquiere mayor relevancia debido a su exposición a peligros como hundimientos, derrumbes, erosión y sismos. En contraste, los puentes ubicados en Barranco, San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel presentan predominantemente un buen estado de conservación, aunque mantienen exposición a procesos de inestabilidad del acantilado y peligros sísmicos. En conjunto, la condición de conservación evidencia que los sectores con mayor uso recreativo y conexión directa con playas requieren especial atención, debido a que una eventual afectación de estas infraestructuras podría comprometer tanto la seguridad de los usuarios como la continuidad del acceso peatonal hacia las zonas de playa.

Tabla N° 75: Estado de conservación de puentes

N.°	Distrito	Puente peatonal	Características físicas generales	Peligros identificados en el Sistema del puente	Estado de conservación
1	Chorrillos	Bajada Agua Dulce	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Acantilado de aproximadamente 30 m, con pendientes >45°; planicie superior con depósitos aluviales y sectores fuertemente disectados.	Hundimiento; derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Regular
2	Barranco	Bordemar – Acceso Armendáriz	Terraza baja con depósitos antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Acantilado de aproximadamente 50 m, con pendientes >50°; depósitos antrópicos antiguos y elevada dinámica geodinámica.	Hundimiento; derrumbes; deslizamiento–derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Bueno
3	Barranco	Bajada de Baños	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 5 m. Bajada sobre acantilado y quebrada; acantilado de aproximadamente 40 m, con pendientes >50° y depósitos antrópicos antiguos; presencia de farellones, erosión hídrica y escorrentía concentrada.	Hundimiento; derrumbes; deslizamiento–derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Bueno
4	Miraflores	Bajada San Martín – Sur	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; topografía plana a suavemente ondulada, pendiente hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Acantilado de aproximadamente 44 m, con pendientes >45°, conformado principalmente por depósitos antrópicos antiguos.	Hundimiento; deslizamiento rotacional; derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Bueno
5	Miraflores	María Reiche – Playa Los Delfines	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 5 m. Acantilado de aproximadamente 53 m, con pendientes >50° y depósitos antrópicos antiguos; morfología disectada y erosión hídrica.	Hundimiento; derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Regular
6	Miraflores	Bajada Punta Roquitas	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 5 m. Bajada sobre acantilado de aproximadamente 53 m, con pendientes >50° y depósitos antrópicos antiguos; sectores erosionados y morfología disectada.	Hundimiento; derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Bueno
7	Miraflores	Bajada Balta	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 10 m. Acantilado de aproximadamente 50 m, con pendientes >45° y depósitos antrópicos antiguos; presencia de sectores con deslizamientos, derrumbes y erosión en cárcavas.	Hundimiento; deslizamiento–derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Bueno
8	Miraflores	Playa Redondo – Acceso Armendáriz	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Acantilado de aproximadamente 60 m, con pendientes >50° y depósitos antrópicos antiguos; frente fuertemente disectado y erosionado.	Hundimiento; derrumbes; erosión en cárcavas; sismos; tsunami.	Regular
9	San Isidro	Bajada San Martín – Norte	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 5 m. Acantilado de aproximadamente 40 m, con depósitos antrópicos antiguos y sectores de inestabilidad.	Hundimiento; deslizamiento rotacional; derrumbes; sismos; tsunami.	Bueno
10	Magdalena del Mar	Bajada Marbella	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 5 m. Bajada peatonal con escalinatas sobre pendientes de 35°–40° y rampa de 20°–24°; acantilado de	Hundimiento; derrumbes; sismos; tsunami.	Bueno

			aproximadamente 20 m, con depósitos aluviales.		
11	Magdalena del Mar	Bajada Brasil	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 1 m. Escalinatas sobre pendientes de 40°–45°, rampa de 20°–24° y acantilado de aproximadamente 15 m, conformado por depósitos antrópicos recientes y aluviales.	Hundimiento; derrumbes; sismos; tsunami.	Bueno
12	Magdalena del Mar	John Lennon	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Sistema de terrazas de 20°–24° y sectores del acantilado de hasta 50°, con desnivel aproximado de 42 m y depósitos antrópicos recientes y aluviales.	Hundimiento; deslizamiento–derrumbes; sismos; tsunami.	Bueno
13	San Miguel	Bajada Escardó	Terraza baja con depósitos coluviales y antrópicos recientes; pendientes hasta 6° y desnivel de 2,5 m. Acantilado de aproximadamente 30 m, con pendientes cercanas a 35° y depósitos recientes.	Hundimiento; deslizamiento rotacional; sismos; tsunami.	Bueno
14	San Miguel	Acceso Bertoloto	Acantilado con depósitos antrópicos antiguos en la parte alta y depósitos coluviales y antrópicos recientes en la parte baja. Pendientes hasta 45°, sectores de 12°–24° y desnivel aproximado de 24 m.	Deslizamiento–derrumbes; sismos; tsunami.	Bueno
15	San Miguel	Bajada Universitaria	Acantilado con depósitos aluviales y antrópicos en la parte alta y depósitos coluviales y antrópicos recientes en la parte baja. Pendientes hasta 45° y desnivel aproximado de 27 m.	Deslizamiento rotacional; sismos; tsunami.	Bueno

Fuente: Equipo Técnico

En el ámbito de estudio, se evaluaron 194 elementos expuestos, considerando su estado de conservación física y su condición de exposición frente a los peligros por movimientos en masa y movimientos en masa seguidos por tsunami. De este total, 84 elementos presentan vulnerabilidad alta y 110 vulnerabilidad media. Los grupos con mayor cantidad de elementos evaluados son parques y áreas verdes (52) y comercio y gastronomía (46), con 23 y 17 elementos, respectivamente, clasificados con nivel de vulnerabilidad alta.

Destacan los puentes peatonales (15), espigones (10) y ciclovías (2), donde el 100 % de los elementos evaluados presenta vulnerabilidad alta, considerando las condiciones físicas y de exposición analizadas. Asimismo, la infraestructura deportiva presenta una condición relevante, con 11 de 20 elementos (55 %) en nivel de vulnerabilidad alta.

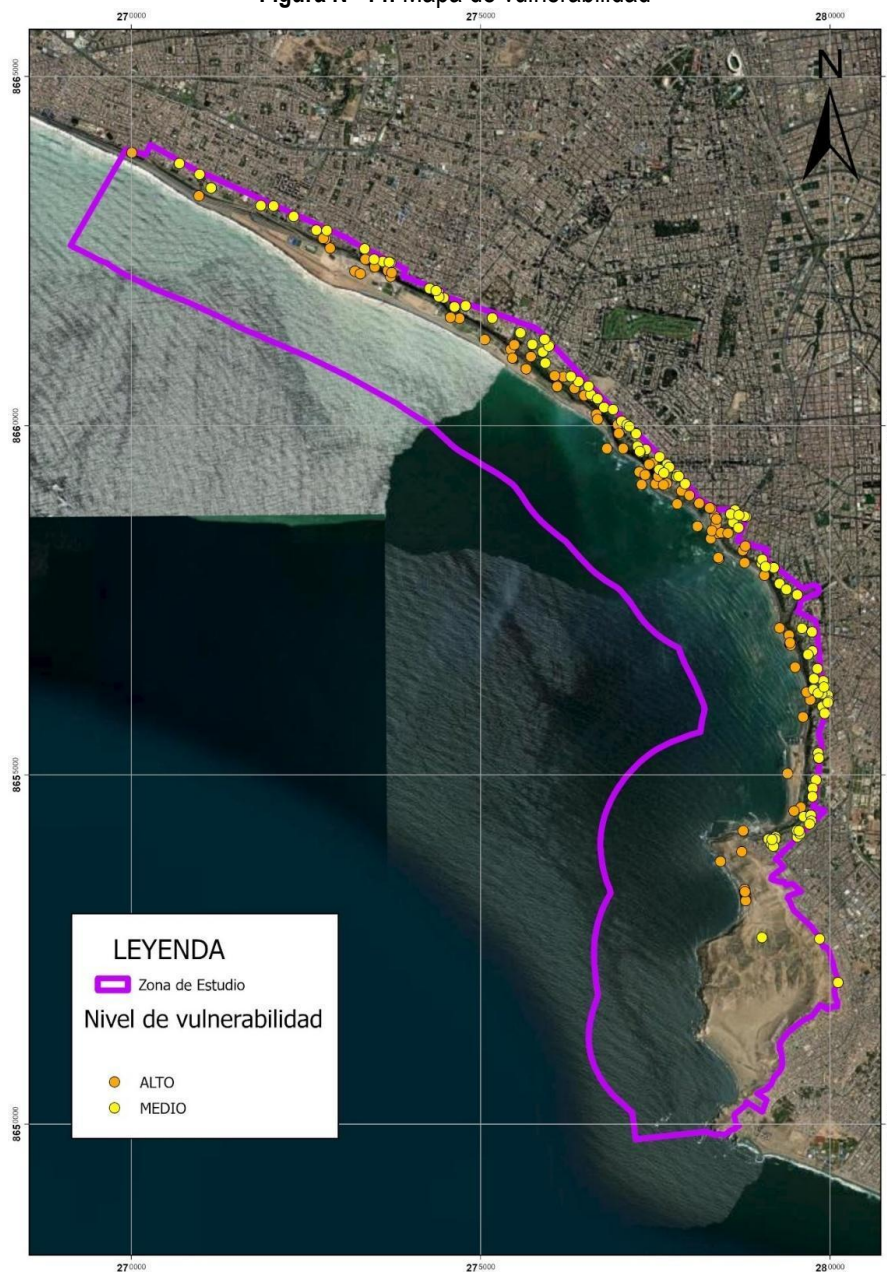
Tabla N° 75: Nivel de vulnerabilidad de elementos expuestos evaluados

Categoría de espacio público / equipamiento	Vulnerab. alta	Vulnerab. media	Total	% en nivel alto
Parques y áreas verdes	23	29	52	44%
Comercio y gastronomía	17	29	46	37%
Infraestructura deportiva	11	9	20	55%
Instituciones educativas	1	18	19	5%
Puentes peatonales	15	0	15	100%
Hospedaje / turismo	1	11	12	8%
Espigones	10	0	10	100%
Otros equipamientos	2	7	9	22%

Categoría de espacio público / equipamiento	Vulnerab. alta	Vulnerab. media	Total	% en nivel alto
Seguridad y emergencias	2	4	6	33%
Establec. de salud	0	3	3	0%
Ciclovías	2	0	2	100%

Fuente: Equipo Técnico

Figura N° 14: Mapa de vulnerabilidad



Fuente: Equipo Técnico

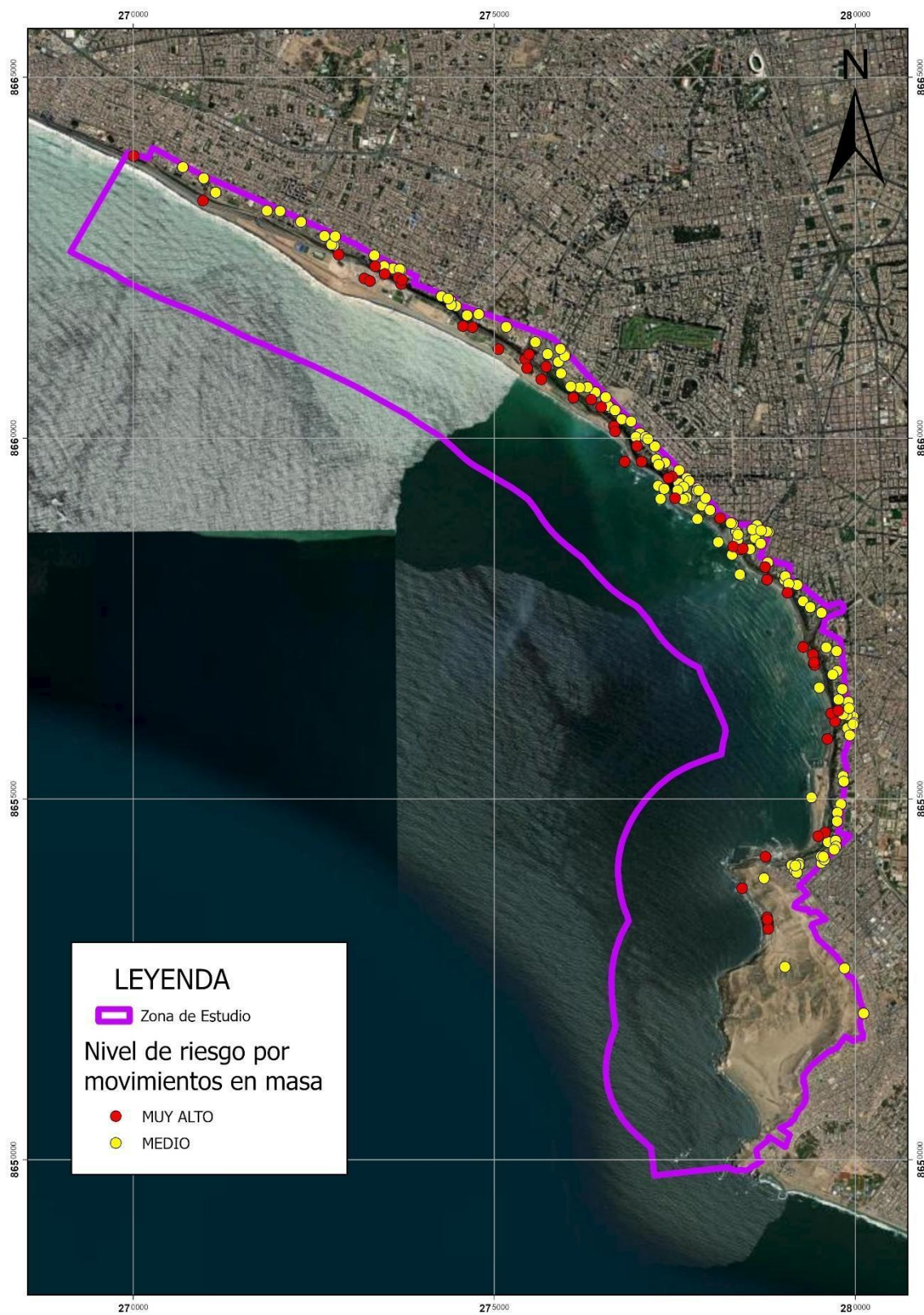
5. ANÁLISIS DE RIESGO:

El riesgo de desastres en la Costa Verde se ha estimado como función de la peligrosidad y la vulnerabilidad de los elementos expuestos ($R = f(P, V)$), aplicando una matriz simplificada de riesgo que combina los niveles de peligro determinados para sismos, tsunamis y movimientos en masa (deslizamientos, derrumbes, caída de rocas y hundimientos) con las condiciones de exposición y fragilidad identificadas en la infraestructura vial, los espacios públicos, las viviendas y la población, y la infraestructura de protección costera (espigones, rompeolas y enrocados).

5.1. Riesgo por Movimientos en Masa (Derrumbes y Deslizamientos)

El análisis de riesgo por movimientos en masa, focaliza la inestabilidad de los taludes y acantilados a lo largo del litoral. Representa la mayor frecuencia de eventos del estudio con 28 de las 41 zonas críticas identificadas, distribuidas en 15 zonas de derrumbes y 13 zonas combinadas de derrumbe y deslizamiento. La amenaza se concentra en los desniveles superiores de los acantilados, comprometiendo directamente las estructuras de acceso. La exposición es de nivel crítico en los sectores de Bordemar, Playa Redondo y Bajada Balta debido a desniveles iguales o superiores a 50 metros, pendientes que sobrepasan los 45° a 50° y coronaciones asentadas sobre rellenos antrópicos antiguos. En un nivel de exposición alta se ubican los accesos Baños, Punta Roquitas, María Reiche y San Martín-Sur, mientras que los tramos de San Martín-Norte, Agua Dulce, John Lennon, Universitaria y Bertolotto presentan un nivel medio. Finalmente, Escardó, Marbella y Brasil registran un nivel moderado por contar con muros de contención y carecer de rellenos antiguos.

Figura N° 15: Mapa de riesgos por movimientos en masa

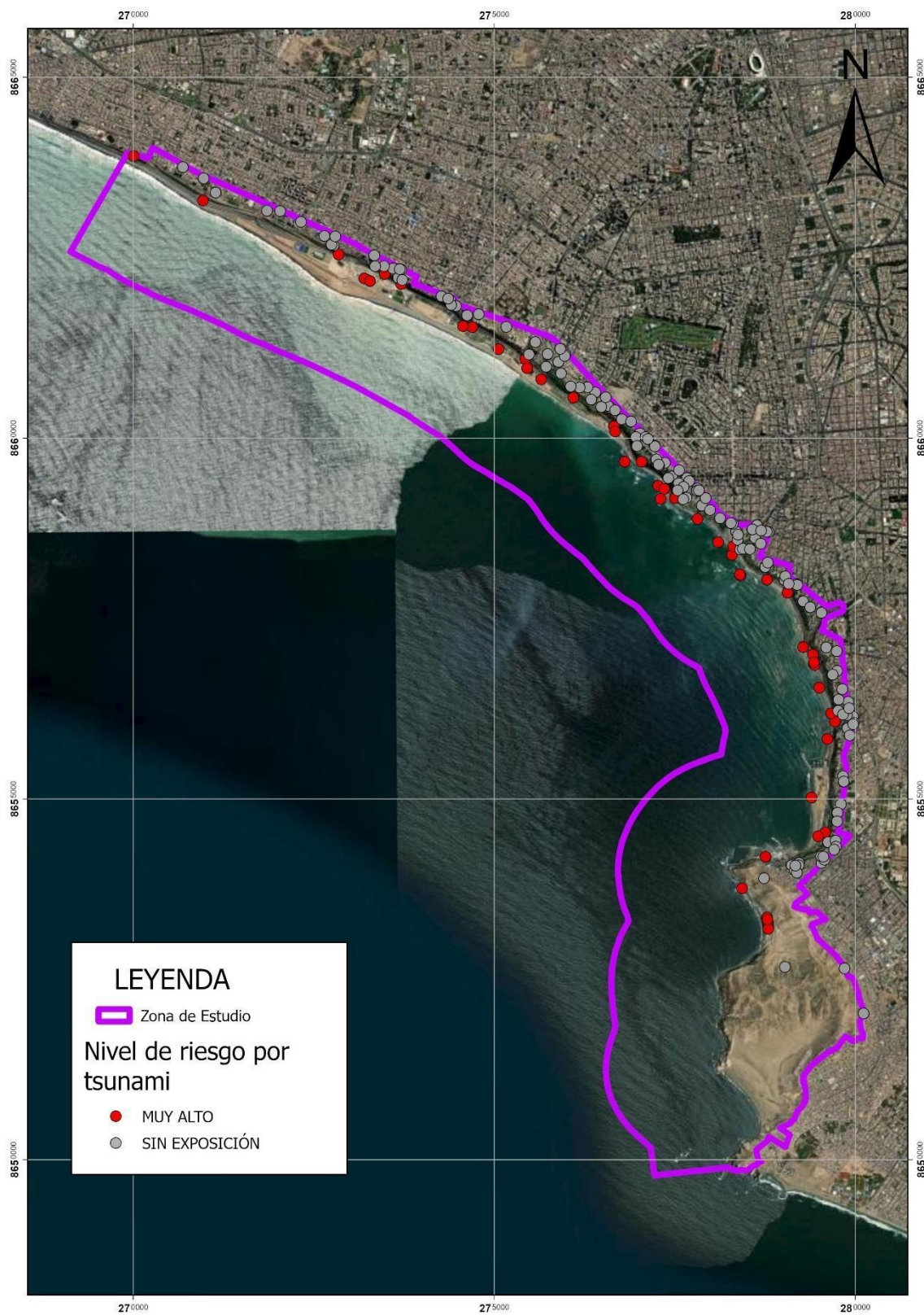


Fuente: Equipo Técnico

5.2. Riesgo por Tsunami

La determinación de riesgo por tsunami, es a través del análisis de peligro y de la vulnerabilidad de la plataforma inferior o tierra ganada al mar y los vía vehicular del Circuito de Playas, constituyendo la categoría de mayor severidad por extensión territorial. El riesgo en esta franja se incrementa severamente por el deterioro de la infraestructura de protección costera existente y la erosión marina, la cual suma 2 zonas críticas adicionales con 19.64 hectáreas (10.4% del área total). Los puntos con nivel de riesgo muy alto, lo representan los sistemas de enrocados, puentes, espigones y establecimientos de recreación ubicadas sobre áreas con nivel de peligro alto. El punto más vulnerable lo representa el sistema de enrocado longitudinal, que, de acuerdo a la evaluación de su estado de conservación, se halla en estado «Malo», poniendo en peligro la continuidad de la vía y la integridad de áreas ganadas al mar, como la Playa Sombrillas. Asimismo, en el distrito de Miraflores, que concentra el mayor foco de riesgo con 129.32 hectáreas críticas, 3 de sus 5 espigones evaluados se encuentran en condición «Mala», afectando el sector de mayor densidad vial y recreativa del área.

Figura N° 16: Mapa de riesgo por tsunami



Fuente: Equipo Técnico

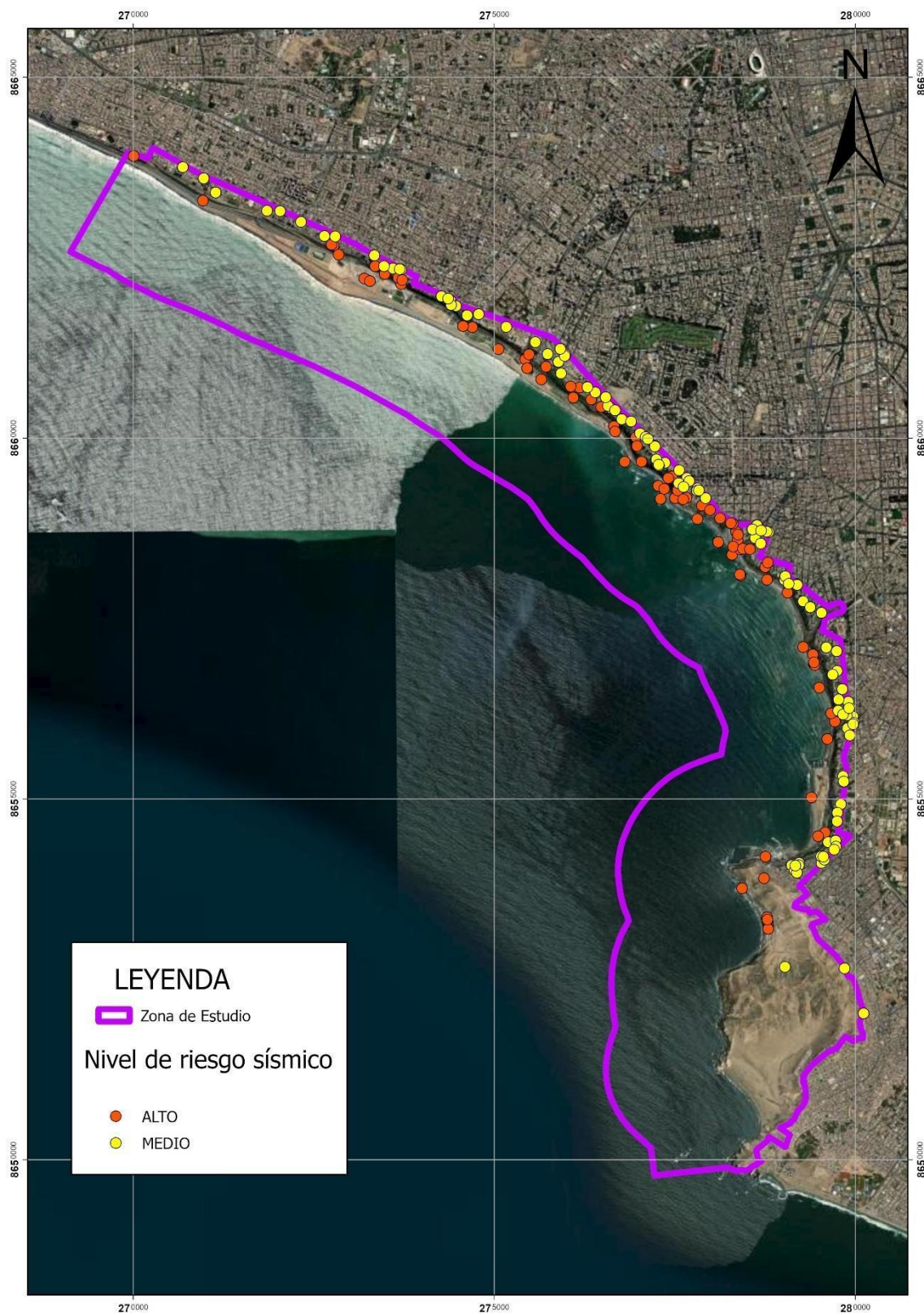
5.3. Riesgo Sísmico

El mapa presenta el nivel de riesgo por movimientos sísmicos a lo largo del ámbito de la Costa Verde.. A diferencia de los peligros del acantilado, que son puntuales y dependen de la geometría del talud, el peligro sísmico mantiene un piso común de alta exposición en todo el ámbito, cuya variación depende de las condiciones del terreno al pie del talud. Las terrazas bajas, con pendientes suaves de hasta 6°, un nivel freático somero y depósitos antrópicos heterogéneos, favorecen la amplificación local de las ondas sísmicas y la ocurrencia de licuación de suelos y asentamientos diferenciales que afectan estribos de puentes, vías y plataformas.

La vulnerabilidad se determinó considerando el estado de conservación y la exposición de los elementos evaluados (puentes, enrocados, espigones, comercios, ciclovías, vías y equipamientos de recreación). En su mayoría, estos se encuentran cimentados sobre rellenos y presentan deterioro, lo que reduce su capacidad para resistir las deformaciones del terreno. A ello se suma la exposición, es decir, su ubicación respecto a las zonas de mayor peligro y la presencia de usuarios y servicios que podrían verse afectados.

El riesgo sísmico resulta de combinar el nivel de peligro con la vulnerabilidad de cada elemento. Los mayores niveles de riesgo se concentran donde coinciden suelos susceptibles a licuación, infraestructura deteriorada sobre rellenos y alta afluencia de personas. Estos sectores deben priorizarse para estudios geotécnicos de detalle, reforzamiento o reemplazo de estructuras y medidas de control de acceso y evacuación

Figura N° 17: Mapa de riesgo por movimientos sísmicos



Fuente: Equipo Técnico

5.4. Síntesis del riesgo por tipo de peligro

A continuación, se presenta una síntesis del nivel de riesgo identificado para cada tipo de peligro evaluado en el litoral de la Costa Verde. El cuadro integra, para cada fenómeno, el nivel de riesgo resultante, los elementos más expuestos y los sectores o distritos donde este se manifiesta con mayor intensidad, lo que permite una lectura comparativa de las amenazas y facilita la priorización de la intervención.

Se observa que el sismo presenta un nivel alto a muy alto y de carácter homogéneo en todo el ámbito de la Costa Verde, mientras que el riesgo por tsunami alcanza un nivel muy alto en la terraza baja.

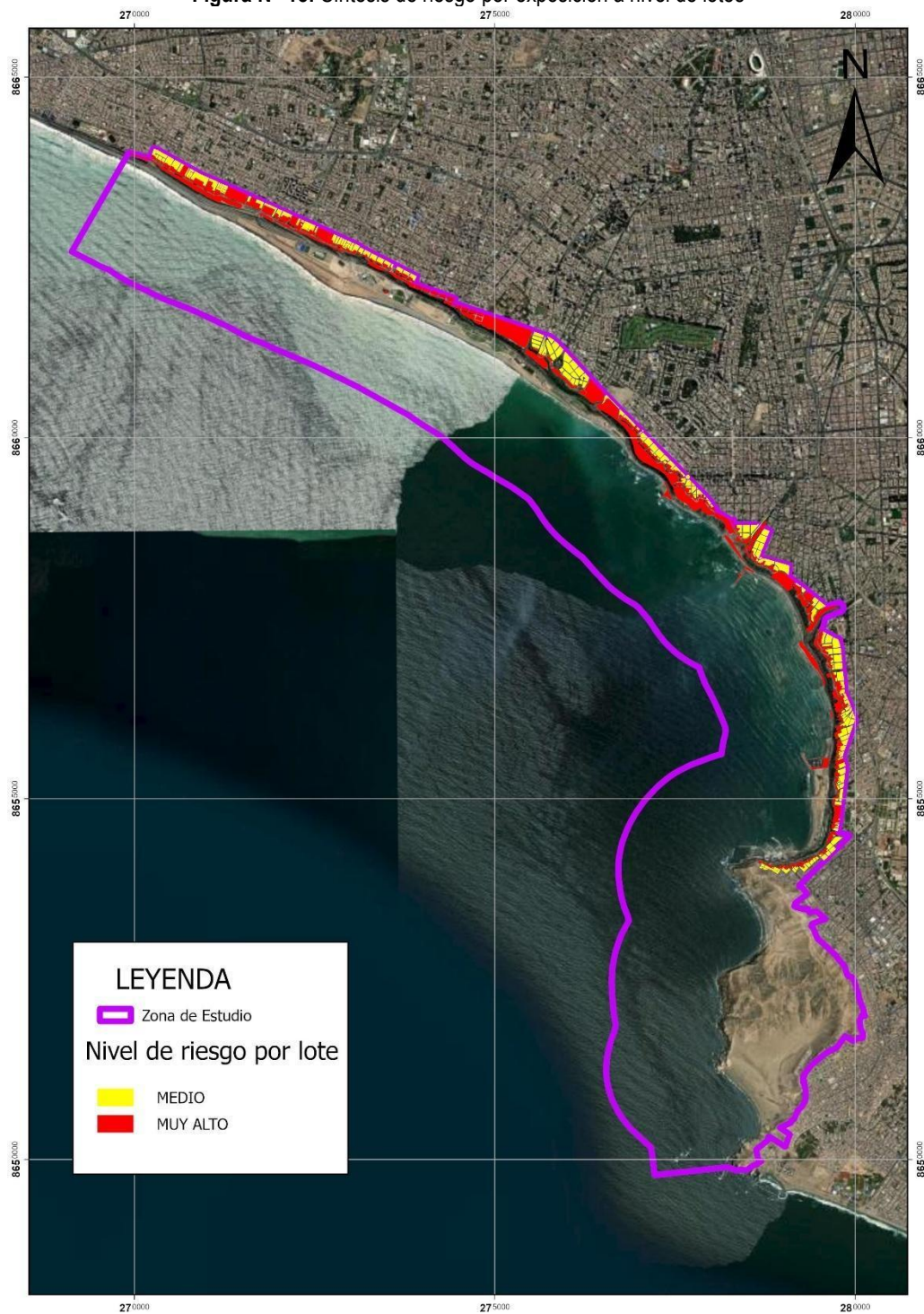
Los movimientos en masa, el hundimiento y la erosión marina, por su parte, muestran niveles de riesgo alto a medio, con una distribución más localizada y asociada a las condiciones geomorfológicas, al relleno antrópico y al déficit sedimentario de cada sector. Esta síntesis constituye la base para orientar las medidas de reducción del riesgo y la definición de prioridades por tramo y distrito.

Síntesis del nivel de riesgo por tipo de peligro

Peligro	Nivel	Elementos más expuestos	Sectores/distritos predominantes
Sismo	Alto a muy alto	Taludes del acantilado, coronación de puentes peatonales, edificaciones próximas al borde superior	Homogéneo en todo el litoral (PGA de roca entre 0.52 g y 0.53 g para $T_r=475$ años); ligera mayor severidad relativa en San Miguel
Tsunami	Muy alto en la terraza baja	Circuito de Playas, espacios recreativos, malecones, trama urbana de Chorrillos (Agua Dulce, Pescadores)	Miraflores y Chorrillos (mayor extensión de polígonos de inundación); efecto combinado sismo-tsunami crítico entre San Miguel y Barranco
Movimientos en masa (derrumbe, deslizamiento, caída de rocas)	Alto (alta frecuencia, menor extensión puntual)	Bajadas y rampas peatonales/vehiculares, vías inferiores del acantilado, puentes y estribos	Distribuido en todo el acantilado; concentración en Miraflores y Chorrillos; tramos críticos en Bordemar, Playa Redondo y Balta
Hundimiento	Alto en sectores de relleno antrópico	Terraza baja, plataformas ganadas al mar, estribos de puentes	Miraflores (asociado a hundimiento y tsunami); sectores de la terraza baja de San Miguel, Magdalena del Mar y San Isidro
Erosión marina	Medio a alto (extensión acotada, pero crítica)	Playas, pie del acantilado, espigones y enrocados en mal estado	Sectores puntuales del litoral con déficit sedimentario (Los Delfines, La Herradura, entre otros)

Fuente: Equipo Técnico.

Figura N° 18: Síntesis de riesgo por exposición a nivel de lotes



Fuente: Equipo Técnico.

6. CONCLUSIONES

- La Costa Verde constituye un sistema territorial complejo y dinámico, conformado por una planicie superior, un sistema de acantilados y una terraza baja mayormente antropogénica, cuya estabilidad depende de procesos geológicos, geotécnicos, sísmicos y oceanográficos activos que condicionan de manera estructural su ocupación y desarrollo.
- El peligro sísmico es alto y prácticamente homogéneo en todo el litoral, con valores de aceleración pico del terreno (PGA) en roca de entre 0.52 g y 0.53 g para un periodo de retorno de 475 años, y de hasta 0.93 g para 2 475 años, constituyendo el principal factor desencadenante de fenómenos concatenados (hundimientos, fallas del borde del acantilado e inundación por tsunami).
- El peligro por tsunami es crítico para la terraza baja: el escenario de análisis, sustentado en el sismo histórico de 1746 (magnitud ≈ 9), proyecta alturas de inundación que pueden superar los 10-15 m y velocidades de flujo elevadas, con capacidad de afectar de forma extensiva el Circuito de Playas, los espacios recreativos y la trama urbana consolidada de Chorrillos.
- Los movimientos en masa (derrumbes, deslizamientos y caída de rocas) son los peligros de mayor frecuencia espacial, concentrados en los taludes del acantilado, con especial incidencia en los accesos peatonales y vehiculares (bajadas y puentes) que conectan la plataforma superior con la terraza baja.
- El análisis de vulnerabilidad identificó 72 tramos viales expuestos (50.44 km), 48 794 habitantes y 20 269 viviendas en 383 manzanas censales, concentrados principalmente en San Miguel, Chorrillos y Miraflores, que en conjunto agrupan más del 79 % de la población expuesta; el 35.3 % de dicha población corresponde a grupos etarios más vulnerables (menores de 15 y mayores de 65 años).
- La infraestructura de protección costera existente presenta un estado de conservación heterogéneo: de 25 espigones, rompeolas y diques evaluados, Miraflores concentra la mayor proporción de estructuras en mal estado, mientras que en el sistema de enrocado longitudinal el 50 % de los tramos se encuentra en estado «Malo», constituyendo el punto más crítico del sistema de defensas costeras.
- La superposición de peligro y vulnerabilidad permitió identificar 41 zonas críticas (189.52 ha), con predominio en frecuencia de los procesos de derrumbe y deslizamiento (68.3 % de las zonas) y predominio en superficie del binomio hundimiento-tsunami (67.1 % del área crítica total), evidenciando que el riesgo más frecuente no es necesariamente el de mayor extensión territorial.
- Miraflores y Chorrillos constituyen los dos focos principales de severidad del riesgo en la Costa Verde, concentrando en conjunto el 94.2 % del área crítica total identificada, por lo que requieren prioridad en la asignación de recursos y en la secuencia de intervención.
- La evaluación de los accesos peatonales y vehiculares al pie del acantilado confirmó que el tipo de material de coronación (relleno antrópico antiguo frente a depósito natural consolidado) y la pendiente del talud son factores condicionantes tan determinantes como la geometría del talud, y que las medidas de mitigación superficiales existentes (geomallas, viseras, revegetación) resultan insuficientes frente a los procesos identificados.
- El diagnóstico técnico desarrollado, peligro, vulnerabilidad y riesgo, sustenta y valida la necesidad de la Propuesta General de Gestión del Riesgo de Desastres, estructurada en cuatro ejes (gobernanza, reducción del riesgo, gestión del conocimiento e infraestructura resiliente) y en el Sistema de Protección Costera planteado para el horizonte 2040.

7. RECOMENDACIONES

- Implementar de manera prioritaria las medidas correctivas y estructurales en los 41 sectores identificados como zonas críticas, iniciando por las estructuras de protección costera en peor estado de conservación (espigones de Miraflores y tramos de enrocado longitudinal con calificación «Malo»).
- Reforzar y/o reconstruir los accesos peatonales y vehiculares clasificados con exposición crítica y alta (Bordemar, Playa Redondo, Balta, Baños, Punta Roquitas, María Reiche y San Martín-Sur), priorizando soluciones estructurales profundas (pilotes, anclajes, mejoramiento de terreno) por sobre medidas superficiales de mitigación.
- Desarrollar e implementar el Sistema de Alerta Temprana (SAT) y los planes de evacuación vertical y horizontal para el escenario de sismo-tsunami, con énfasis en la población flotante de playas y en los sectores de mayor densidad poblacional (San Miguel, Chorrillos y Miraflores).
- Establecer un programa permanente de monitoreo geotécnico, sísmico y oceanográfico (Observatorio Territorial de la Costa Verde) que permita el seguimiento continuo de la estabilidad de acantilados, la dinámica litoral y el comportamiento de la infraestructura de protección costera.
- Incorporar criterios de Gestión del Riesgo de Desastres y de resiliencia territorial en todo nuevo proyecto de inversión pública o privada en la Costa Verde, condicionando su viabilidad a estudios técnicos específicos y al respeto de las zonas de exclusión por riesgo físico.
- Priorizar la atención de la población expuesta, que representa el 35.3 % de la población total en los protocolos de preparación, simulacros y planes de evacuación.
- Fortalecer la articulación interinstitucional entre la Municipalidad Metropolitana de Lima, las municipalidades distritales ribereñas, la Autoridad del Proyecto Costa Verde, DICAPI y las entidades técnico-científicas (IGP, INGEMMET, DHN, CENEPRED), consolidando un modelo único de gobernanza para la gestión del riesgo del corredor costero.
- Ejecutar de manera progresiva el Sistema Integral de Protección Costera (espigones, rompeolas y enrocados) y las medidas de recuperación de playas planteadas en la Propuesta General, sustentando cada intervención en los estudios marítimos complementarios identificados como prioritarios.
- Actualizar periódicamente el presente diagnóstico de peligro, vulnerabilidad y riesgo, incorporando los efectos del cambio climático y los resultados del monitoreo permanente, de modo que la planificación de la Costa Verde se mantenga vigente y sustentada en evidencia técnica actualizada.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad del Proyecto Costa Verde (APCV) y Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2009, julio). Estudio de las condiciones hidro-oceanográficas de la playa La Herradura de la bahía de Miraflores.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2009, agosto). Estudio de la dinámica costera en la playa La Herradura.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2009). Estudio de muestras granulométricas, cálculo de volumen de sedimentos en tres transectas ubicadas en la playa La Chira y Conchán, y corrientes en Punta Codo.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2009). Estudio de la batimetría de 15 transectas. Proyecto Costa Verde.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2009). Estudio de la batimetría de 3 transectas. Proyecto Costa Verde.
- Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú - DHN. (2016). Estudio de dinámica costera del litoral de la Costa Verde.

- Royal HaskoningDHV. (2018). Estudio de escenarios de intervención orientados a la protección costera y generación de nuevas áreas en la Bahía de la Costa Verde.
- Instituto Geofísico del Perú - IGP. (2009). Escenario de sismo y tsunami para la región central del Perú.
- Instituto Geofísico del Perú - IGP. (2021). Silencio sísmico y escenarios de magnitud máxima esperada para la costa central del Perú.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2021). Estudio de riesgos geológicos en el litoral de la Costa Verde.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2022). Informe técnico de evaluación de peligros geológicos e infraestructura de protección costera de la Costa Verde.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET. (2023). Actualización del inventario de movimientos en masa de la Costa Verde.
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED. (2020). Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y Callao.
- Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID. Mapa de zonificación sísmica del área de estudio.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2017). Censos Nacionales XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas.