



FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

ESPECIALIDAD EN GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE

**“ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD COSTERA FRENTE A UN POSIBLE
AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR: SECTOR COSTERO LURÍN-PUCUSANA
(PROVINCIA DE LIMA)”**

Tesis para optar el título de Licenciada en Geografía y Medio Ambiente que
presenta la Bachiller:

ROSA XIMENA TEJADA DE LA CRUZ

ASESOR: DR. CARLOS TAVARES CORRÊA

Lima, 27 de abril del 2016

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis contó con el apoyo de la Dirección de la Gestión de la Investigación de la PUCP, para la compra de fotografías aéreas y otros materiales (proyecto DGI 153 - 2015-1-0018).

En primer lugar, agradezco a mi asesor de tesis, el Doctor Carlos Tavares Corrêa, quien me apoyó, aconsejó y guio, con mucha paciencia, durante todo el proceso de investigación hasta finalizar con satisfacción toda la tesis.

También agradezco al Magíster Gustavo Rondón, quien siempre separaba un espacio de su tiempo para leer mi investigación. Sus comentarios y correcciones fueron muy valiosas y me sirvieron como impulso a seguir continuando en la investigación.

Quisiera agradecer también al Doctor Martín Timaná, quien fue mi profesor de los tres cursos de tesis. Gracias a los comentarios y consejos que nos brindó en clases, fue posible entender y apreciar lo valiosa y necesaria que es la investigación y lo importante que es realizarla con calidad e integridad.

La realización de los trabajos de campo fueron posibles gracias a personas muy valiosas en mi vida: agradezco profundamente el apoyo del Bachiller en Ing. Industrial Wenwei Jiang, a mis hermanos, Pamela y Guillermo Tejada; y a mi madre, Hilda De la Cruz, quienes me acompañaron a cada salida y siempre estuvieron motivándome a seguir hasta acabar con todas las mediciones.

Por último, agradezco a mi familia, a mi padre, Guillermo Tejada, a mi abuela, Rosa Jacobo y a mi tía Susana De la Cruz. Todos ellos siempre a mi lado brindándome aliento, consejos, en cada pequeño detalle hicieron posible que yo pueda alcanzar la meta de tener terminada mi investigación y son quienes me inspiran de igual forma a seguir adelante.

RESUMEN

El litoral peruano es una extensa área con gran variedad ecológica y geomorfológica en donde se desarrollan una serie de actividades que ayudan a sostener el desarrollo del país. Es un ambiente sometido a una alta presión antrópica, y es sensible ante cualquier cambio que pueda ocurrir en el clima. La alteración de los procesos físicos y naturales costeros provoca procesos de erosión que amenazan a las edificaciones y las actividades que se desarrollan en el litoral. La alta o baja vulnerabilidad de la zona costera dependerá de las características ambientales y de ocupación humana.

La presente tesis titulada “Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: sector costero Lurín-Pucusana (Provincia de Lima)” tiene como objetivo principal identificar y cuantificar los lugares más vulnerables ante un posible aumento del nivel del mar en el sector de playas entre Lurín y Pucusana mediante la aplicación de un Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC). Las preguntas de investigación fueron las siguientes: ¿Cuáles son las áreas de mayor o menor vulnerabilidad a verse afectadas ante un posible aumento del nivel del mar?, ¿Cuáles son las variables físicas o humanas que determinan el grado de vulnerabilidad de la zona de estudio?, ¿Las características físicas (geológico-geomorfológicas) favorecen o reducen la vulnerabilidad y/o el grado de urbanización y la cantidad de actividades que se desarrollan afectan o influyen en el aumento de la vulnerabilidad a verse afectada la zona costera?

Para lograr el objetivo y responder correctamente a las preguntas planteadas, se realizó una caracterización de la zona de estudio teniendo en cuenta factores físicos y de ocupación humana. Esto se logró en base a la selección de variables ambientales y socioeconómicas significativos en el área de estudio. De esta manera, se incluyó tres variables físicas: pendiente, geomorfología y variación de línea de costera; así como tres variables socioeconómicas: distancia a la infraestructura, uso de suelo y densidad poblacional. La medición e integración

de las variables tanto físicas como humanas para estudiar la compleja realidad de las costas funcionó como un aporte principal de la presente investigación. Además, con la integración de las mismas en el IVC se consiguió conocer e identificar el grado de vulnerabilidad de la costa ante las consecuencias a que podría conducir un posible aumento del nivel de mar.

Los resultados de esta investigación mostraron que de las trece unidades de análisis evaluadas, las clasificadas como de “muy alta” vulnerabilidad fueron las de Señoritas, Embajadores y Pucusana. Las menos vulnerables clasificadas de “muy baja” vulnerabilidad fueron las de Lurín, Quebrada y el sector Roca. Las unidades restantes obtuvieron “alta”, “baja” y “moderada” vulnerabilidad dependiendo de los puntajes que obtuvieron en cada uno de las seis variables estudiadas. Asimismo, el análisis por variables demostró que los factores socioeconómicos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de la zona costera y las variables físicas, la disminuyen.

Con la presente tesis se logró obtener un primer avance en la aplicación de un IVC entre Lurín y Pucusana y se consiguió también conocer las dinámicas costeras. La información generada contribuye como aporte para futuros proyectos y/o planes de gestión y desarrollo costero que se puedan desarrollar en la zona de estudio.

ABSTRACT

The Peruvian coastline is a vast area with great amounts of ecological and geomorphological diversity, where key activities that sustain the development of the country are carried out. The alteration of physical and natural processes in the coastline causes erosional events that are a threat to the buildings and activities that take place in the coast. The high or low vulnerability of the coastline will depend on the environmental characteristics and also on the human interaction with such territories.

This thesis titled "Coastal vulnerability analysis for the potential rise in sea levels in the coastline sector Lurín-Pucusana of Lima Province" has as main objective the identification and quantification the most vulnerable places as a result of a potential increase in the sea level of the areas between Lurin and Pucusana. The analysis will be achieved by applying a Coastal Vulnerability Index (CVI). The research questions can be summarized as follows: Which are the areas of highest and lowest risk in case of sea level increase? Which are the factors/parameters both physical o human that determine the level of vulnerability in the stud zone? The physical characteristics (geological and geomorphological) increase or reduce the level of vulnerability? How the different scales of urbanization and the activities developed affect the degree of susceptibility when the coastal zone is compromised?

In order to achieve the objectives and answer the previous questions accordingly, a characterization of the study zone that involved physical factors and human occupational ones was made. Three physical variables were included: slope, geomorphology and coastal line variation; as well as three socio-economic variables: distance to the closest infrastructure, use of soil and population density.

The measurement and integration of both physical and humanistic variables to study the complex reality of the coasts served as the main input for this investigation. Furthermore, applying these variables into the IVC, a degree of exposure or susceptibility of the coastline could be identified and also the potential consequences implied in an increase of the sea level rise.

The results of this research show that from the 13 units of territory analyzed, those classified as “very vulnerable” are Señoritas, Embajadores and Pucusana. Meanwhile, those considered having “very low vulnerability” are Lurin, Quebrada and the sector of Roca. The rest of the territories belong to a scale of “high”, “low” and “moderate” vulnerabilities depending on the scores given in each of the six parameters studied. Additionally, the study of parameters proved that socio-economic factors increase the level of vulnerability of the coastal zone while the physical ones diminish it.

Thanks to this thesis research, a preliminary advance in the application of a CVI between Lurin and Pucusana was obtained and as a result a better understanding of the coast dynamics was achieved. The new generated data would also serve as a contribution to future research projects and local plans for further coastal development.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	V
CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	XII
INTRODUCCION.....	1
I. PROBLEMÁTICA.....	2
II. JUSTIFICACIÓN.....	5
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACION.....	6
IV. OBJETIVOS.....	7
IV.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
IV.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL.....	8
1.1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR.....	8
1.1.2. IMPACTOS EN LAS COSTAS.....	10
1.1.3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD COSTERA.....	11
1.2. ANTECEDENTES.....	13
CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO.....	19
2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	19

2.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA.....	19
2.1.2. EXTENSIÓN TERRITORIAL.....	19
2.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL.....	21
2.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOLÓGICAS.....	21
2.3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO HUMANO	24
2.3.1. CARACTERÍSTICAS SOCIO-ECONÓMICAS	24
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	27
3.1. DIVISIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS PARA LA ZONA DE ESTUDIO.....	27
3.1.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ESPECÍFICAS DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	29
3.2. APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE EVALUACIÓN	38
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	40
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	40
4.1.1. GEOMORFOLOGÍA.....	40
4.1.2. PENDIENTE DE LA PLAYA	47
4.1.3. VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA	66
4.1.4. USOS DE SUELO	70
4.1.5. DENSIDAD POBLACIONAL.....	73
4.1.6. DISTANCIA A LA INFRAESTRUCTURA	77
4.2. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA	77
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN.....	85
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	92
BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de índices de vulnerabilidad costera aplicadas por diferentes investigadores en sus estudios	15
Tabla 2: Clasificación de las variables del índice de vulnerabilidad de las costas del Golfo de México-EE. UU.....	18
Tabla 3: Clasificación de la variable “Geomorfología”	30
Tabla 4: Clasificación de la variable “Pendiente de la playa”	32
Tabla 5: Clasificación de la variable “Desplazamiento de la línea de costa”	35
Tabla 6: Clasificación de la variable “Usos de suelo”	36
Tabla 7: Clasificación de la variable “Densidad poblacional”	37
Tabla 8: Clasificación de la variable “Distancia a la infraestructura”	38
Tabla 9: Unidades geomorfológicas predominantes en las unidades de análisis en el área de estudio.....	45
Tabla 10: Información de perfiles levantados en campo	48
Tabla 11: Resultados de pendiente y margen de error por sector de estudio	49
Tabla 12: Resultados del análisis de variación de línea costera por cada sector de estudio.	69
Tabla 13: Principales usos de suelo según sector de estudio.....	71
Tabla 14: Resultados de densidad poblacional por sectores.....	73
Tabla 15: Resultados finales del cálculo de la distancia más próxima por sector.	78
Tabla 16: Resultados obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera para cada sector de estudio.....	82
Tabla 17: Categorías del IVC en base a los resultados divididos en cuartiles ...	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio	20
Figura 2: Características geológicas del área de estudio.....	23
Figura 3: Población urbana y rural por distrito en el área de estudio.	24
Figura 4: Aumento poblacional	25
Figura 5: Identificación de las unidades homogéneas para el análisis de la vulnerabilidad a la erosión.....	28
Figura 6: Método de Emery.....	31
Figura 7: Triángulo para calcular el ángulo de la pendiente y la distancia horizontal de cada perfil.....	31
Figura 8: Terrazas marinas en dos sectores de estudio.....	42
Figura 9: Imágenes de algunas geoformas. a) playa de cantos, b) acantilado muerto, c) terraza marina, d) punta rocosa.....	44
Figura 10: Unidades geomorfológicas	46
Figura 11: Ubicación de los perfiles de playa en el área de estudio.....	50
Figura 12: Perfil de playa San pedro.....	51
Figura 13: Presencia de comercio.	52
Figura 14: Perfil de playa Pulpos	53
Figura 15: Alta infraestructura urbana.....	53
Figura 16: Perfil de playa El Silencio	54
Figura 17: Acantilado muerto.....	54
Figura 18: Perfil de playa Caballeros.....	55
Figura 19: Zona residencial..	55
Figura 20: Perfil de playa Punta Rocas.....	56
Figura 21: Viviendas alejadas de la línea de costa.	56
Figura 22: Perfil de playa Punta Negra.	57
Figura 23: Amplio espacio de berma.	57
Figura 24: Perfil de playa “Bikinis”	58

Figura 25: Amplio espacio de berma.	59
Figura 26: Perfil de playa San Bartolo.	60
Figura 27: Poco espacio de berma.	60
Figura 28: Perfil de playa “Santa María grande”	61
Figura 29: Perfil de playa “Santa María grande”	61
Figura 30: Escarpe de erosión.	62
Figura 31: Santa María, playa chica.	62
Figura 32: Perfil de playa “Embajadores”	63
Figura 33: Poco espacio de berma.	63
Figura 34: Perfil de playa Naplo.....	64
Figura 35: Poca presencia de olas.....	64
Figura 36: Perfil de playa Pucusana.....	65
Figura 37: Balneario de pescadores.....	65
Figura 38: Variación de línea de costa en el sector de estudio.....	68
Figura 39: Tasa de cambio final (EPR) entre 1961 y 2014 para el área de estudio por sectores.....	69
Figura 40: Imágenes de uso del suelo. a) uso residencial, b) uso comercial, c) uso recreacional.....	71
Figura 41: Tipos de uso de suelo	72
Figura 42: Imágenes de los sectores poblados de algunas de las playas. a) corresponde a Roca, b) corresponde a San Bartolo.....	74
Figura 43: Densidad poblacional por sectores.	75
Figura 44: Ejemplo de separación en tramos y cálculo de distancia.....	77
Figura 45: Casas construidas próximas al mar. a) playa San Bartolo, b) playa Blanca.	78
Figura 46: Vulnerabilidad de los sectores de estudio.....	83
Figura 47: Vulnerabilidad relativa a cada una de las seis variables de estudio .	84

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CS0VI	Clasificación de la vulnerabilidad social
ENM	Elevación del nivel del mar
IGN	Instituto Geográfico Nacional
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IVC	Índice de Vulnerabilidad Costero
SI	Índice de sensibilidad
SoVI	Índice de vulnerabilidad social



INTRODUCCION

El cambio climático, definido por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)¹ como “una importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más), debido a la variabilidad natural del clima o como resultado de la actividad humana”, está ampliamente reconocido como un problema ambiental clave, que afecta a los sistemas naturales y humanos en todo el mundo.

Uno de los sistemas ambientales más amenazados son las áreas costeras que están particularmente expuestas a una serie de riesgos relacionados con el cambio climático, como el aumento del nivel del mar por derretimiento de glaciares, o aumento de la temperatura superficial del mar, expansión térmica, aumento en la intensidad de tormentas, entre otros (Torresan, Critto, Dalla, Harvey & Morcomini, 2008; Zhang, K., Douglas, B., & Letherman, S., 2004). De éstos, el aumento del nivel del mar es uno de los más certeros impactos inducidos e intensificados por la creciente presión antrópica que existe en estos ecosistemas, y que impulsará, en la mayor parte de las costas, la necesidad de hallar medidas de adaptación local para enfrentar y mitigar los posibles impactos asociados a este aumento.

Algunas de las consecuencias físicas del aumento del nivel del mar, que serán necesarias mitigar, son la erosión y el retroceso de la línea costera e intrusión salina en los acuíferos y estuarios, pérdida de humedales costeros y aumento de los niveles freáticos (Vázquez, A., 2008). Por otro lado, las consecuencias socioeconómicas están asociadas a la pérdida de propiedades, de hábitats

¹ <http://www.ipcc.ch/>

costeros, pérdida de las funciones turísticas, de recreación y transporte (Torresan et al., 2008).

A la luz de este creciente problema global, existe una urgente necesidad de desarrollar y aplicar metodologías y aproximaciones apropiadas en la evaluación de la vulnerabilidad de los sistemas costeros de tal manera que los riesgos queden reducidos. El estudio de la vulnerabilidad costera requiere de una aproximación interdisciplinaria basada en la identificación de indicadores apropiados que representen las diferentes particularidades de cada sistema costero (Füssel & Klein, 2006).

Conociendo esto, se puede afirmar que el estudio de las playas y balnearios costeros del sur de Lima comprendidos entre los distritos de Lima y Pucusana resulta ser representativo, ya que encontramos diversos ambientes naturales, variadas formas de asentamiento de la población, grandes infraestructuras de vivienda y protección costera, y distintas actividades antrópicas que se desarrollan en estos distritos. Una correcta evaluación de la vulnerabilidad entre Lurín y Pucusana, permitirá, a largo plazo, tomar mejores decisiones al momento de realizar planes integrales costeros o planificar las construcciones de sitios para la industria, puertos, viviendas, actividades turísticas, entre otros.

I. PROBLEMÁTICA

Las costas son una de las zonas más pobladas del mundo gracias a múltiples factores como la cercanía a recursos marítimos y la accesibilidad a través de diferentes medios de transporte. Actualmente, el 70% de las playas del mundo se encuentran erosionadas (Bird, 1985; Zhang et al., 2004; Dwarakish, Vinay, Usha Natesan, Toshiyuki Asano, Taro Kakinuma, Katta Venkataramana, B., Jagadeesha & M.K Babita, 2009). La causalidad de la erosión costera puede otorgarse principalmente a las consecuencias del cambio climático. Es decir, las

zonas costeras son sensibles al aumento del nivel del mar, a los cambios en los procesos climáticos (tormentas) y también a la interferencia humana. De éstos, el aumento del nivel del mar es la causa más palpable y de mayor importancia en estos tiempos (Zhang et al, 2004).

Los rangos de elevación del nivel del mar (ENM) han incrementado en las últimas décadas y no son los mismos de región a región (Grández, 2010), ya que dependen de las características físicas y antrópicas particulares de cada localidad. Los escenarios elaborados a escala mundial por el IPCC, prevén valores que en promedio oscilan entre 0,09 y 0,88 m desde 1990 al 2100, con tendencia a la aceleración (Kokot, R., Codignotto, J., & Elissondo, M., 2004).

Los impactos de esta potencial subida del mar no solo afectan de forma física al litoral, incrementando la erosión, salinizando estuarios y acuíferos o elevando el riesgo de inundación (Zújar, Álvarez F., Cajaraville & Jurado, 2008); sino que también afecta de manera directa a las poblaciones asentadas en áreas costeras. Por ello, además de identificar y analizar procesos físicos, es necesario estudiar las variables antrópicas relacionadas a la presencia masiva de población, a las estructuras y diversas actividades que se vienen realizando en estas áreas.

Todo este proceso de urbanismo costero que se ha desarrollado sin tomar en cuenta la acción de las diversas variables físicas ambientales dinámicas de dichos espacios, genera una condición de vulnerabilidad (Verdi, M., 2007). El concepto de vulnerabilidad se asocia a la sensibilidad de un ecosistema (grado en que puede verse afectado en función de su exposición) ante un fenómeno (subida del mar) o/y su capacidad de adaptación (Ojeda, J., Álvarez, J., Martín, D., & Fraile, P., 2008).

Para medir y comprobar esta problemática se pretende aplicar un Índice de Vulnerabilidad Costero (CVI²), obtenido a través de la aplicación de un algoritmo que relaciona variables e indicadores específicos de nuestra zona de estudio, obtenidos a partir de información geológica, oceanográfica, climatológica (Kokot et al., 2004) y algunas características socio-económicas pertinentes de analizar.

En general, existen pocos estudios (Aguilar, M., 2015) que pretendan evaluar la vulnerabilidad de las costas ante un potencial aumento del nivel del mar en el Perú. Existen, no obstante, otros estudios de temática distinta y diversa en el área de estudio como la investigación de Tavera, H., Bernal L. & Gómez, JC. (2010), “Zonificación Sísmico-Geotécnico para 7 distritos de Lima Metropolitana”, los estudios de Teves, Laos, Carrasco, San Roman, Pizarro, Cardenas & Romero, (1996) sobre inundación costera como resultado del cambio climático y, por último, la investigación de Rodríguez, Martínez & Martínez publicada en 1995 llamada “Estudio del medio físico y humano de los distritos del sur de Lima (Lurín-Pucusana, Perú)”, que con un enfoque más humano realiza una caracterización completa del sector de estudio. Sin embargo, los estudios citados no cumplen la expectativa de analizar la vulnerabilidad a la erosión costera, que se busca comprender y analizar en la presente investigación.

Es por ello que en el presente trabajo se busca identificar y evaluar zonas vulnerables que serán de mucha utilidad para lograr un manejo integrado de la de la costa y tomar mejores decisiones que disminuyan el riesgo de erosión y así se eviten pérdidas materiales y la eventual degradación del ecosistema marino-costero.

² Por sus siglas en inglés: *Coastal Vulnerability Index (CVI)*

II. JUSTIFICACIÓN

Es importante el estudio de la costa peruana pues ocupa alrededor del 11,7% del territorio nacional (INEI³, 2007), cuenta con más de 3000 kilómetros de extensión y alberga a aproximadamente el 60% de la población del país (Berninson, Ortiz, Monteferri, & Zamudio, 2006). Es un espacio de alta riqueza biológica, en el que se desarrollan un sinnúmero de actividades como pesca, turismo, recreación, acuicultura, agricultura, además de ser una vía de navegación importante y necesaria para el transporte de diversos bienes materiales. En resumidas palabras, la costa peruana posee una alta capacidad para proveer bienes y servicios, lo cual se traduce en el pilar de actividades de las que depende el desarrollo del país (Leceta, F., 2009).

Actualmente la costa peruana se encuentra expuesta a una gran presión poblacional, la demanda de viviendas asentadas en las zonas cercanas al mar es cada vez mayor y el aumento parece no tener control (Sueiro J., Cornejo, A., & Castro, P., 2005). Esta incompatibilidad entre la oferta natural y el uso antrópico del espacio, hacen de la costa peruana un ecosistema frágil, vulnerable, que posee zonas ambientalmente críticas, y procesos de erosión y deposición que dificultan el desarrollo y funcionamiento normal del sistema marino-costero. Estos procesos erosivos se agudizan por una de las más certeras consecuencias del cambio climático: el aumento del nivel del mar (Zhang et al. 2004).

En respuesta a este ascenso del nivel del mar hay varias opciones: protección de la línea de costa a través de diques, relleno de playas, protección solo de las áreas densamente pobladas, abandono del desarrollo de la actual línea de costa, retroceso tierra adentro, entre otros. Para poder evaluar la opción más apropiada para una mejor gestión costera y prevención de desastres, deben ser identificadas las áreas más vulnerables (Kokot et al. 2004).

³ <http://www.inei.gob.pe/>

El estudio de la costa en el Perú es fundamental ya que el territorio de estudio se encuentra expuesta a una gran presión social, ambiental y económica. Es necesario analizar sus procesos, dinámicas y de esta manera desarrollar planes de gestión costera.

Teniendo en cuenta lo afirmado previamente, con el presente estudio, se pretende evaluar la vulnerabilidad al incremento del nivel del mar en la zona sur de Lima entre Lurín y Pucusana. Los problemas comunes de esta zona incluyen las invasiones informales de la franja costera, la contaminación del agua del mar y ríos, la poca presencia de áreas verdes, la desaparición de especies litorales, pérdida de paisajes naturales, erosión costera, entre otros.

Con esta investigación se pretende contribuir a la evaluación de la vulnerabilidad de conocimiento sobre este tema en el país. Asimismo, los resultados que se obtengan de este estudio servirán para que los científicos, académicos y políticos, entre otros, evalúen mejor cualquier decisión en proyectos de planificación y gestión sostenible de esta zona marino-costeras.

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACION

La pregunta principal de la investigación es la siguiente: ¿Cuáles son las áreas de mayor o menor vulnerabilidad a verse afectadas ante un posible aumento del nivel del mar en la zona de estudio?

Las preguntas secundarias que se desprenden de la primera y dan soporte a la investigación son las siguientes:

1. ¿Cuáles son las variables físicas o humanas que determinan el grado de vulnerabilidad de la zona de estudio?
2. ¿Las características físicas (geológico-geomorfológicas) favorecen o reducen la vulnerabilidad?

3. ¿El grado de urbanización y la cantidad de actividades que se desarrollan en la zona de estudio afectan o influyen en el aumento de la vulnerabilidad a verse afectada la zona costera?

IV. OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL

Identificar el nivel de vulnerabilidad frente a un posible aumento del nivel del mar en el sector costero entre Lurín y Pucusana, a partir de la elaboración y aplicación de un Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC).

IV.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la zona de estudio teniendo en cuenta factores físicos y la ocupación humana.
2. Delimitar el área de estudio en unidades de análisis para la aplicación del IVC.
3. Seleccionar variables físicas y humanas significativas para identificar a la vulnerabilidad costera de acuerdo a las características de la zona de estudio.
4. Aplicar el Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC) en las unidades de análisis.
5. Generar una base de datos cartográficos mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfico.

CAPÍTULO 1. MARCO CONCEPTUAL

En este capítulo se presentará la base teórica y los antecedentes (estado del arte) de la presente investigación. En el marco teórico se explicarán los principales conceptos y procesos que permiten un mejor entendimiento del estudio. Asimismo, en los antecedentes se explicarán investigaciones anteriores relacionadas con el tema del presente estudio.

1.1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentará la base teórica de la investigación. Primero, se realizará una explicación del cambio climático y el aumento del nivel del mar. En segundo lugar, se indicarán los principales impactos en la costa debido al cambio climático; y en tercer y último lugar, se analizará el concepto de vulnerabilidad.

1.1.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

Según Damla, A. (2010), el cambio climático se refiere a una variación en la continuidad de las condiciones climáticas que puede ser medido mediante el uso de métodos estadísticos en un periodo de tiempo determinado. Éste se produce debido a procesos naturales en el clima o inducido por acciones humanas. El cambio climático global puede incrementar la temperatura de los océanos, reducir el hielo glaciar, producir cambios en la salinidad y circulación oceánica, aumentar el nivel del mar, entre otros.

Según Gutiérrez, D., Bertrand, A., Wosnitza-Mendo, C., et al. (2011), el impacto del cambio climático sobre los recursos marinos y las zonas costeras presentan dos posibles escenarios para los próximos 20-30 años en el Perú: por un lado, una intensificación del afloramiento costero en favor de la producción biológica, o la disminución de los vientos costeros conllevando a incrementos de la temperatura en las áreas costeras lo cual afectaría a la producción global de los ecosistemas. Estos escenarios están combinados con efectos globales como el aumento del

nivel del mar, pérdida de manglares, humedales y cambios en la precipitación (Avalos, M. & Torero, G., 2015).

Uno de los efectos negativos del cambio climático que posee mayores repercusiones sobre las zonas costeras es el aumento del nivel del mar. Los procesos asociados al cambio climático que provocan el aumento del nivel del mar se deben principalmente a la expansión térmica del océano, al derretimiento de los glaciares de montaña, pequeños casquetes de hielo y a la ablación acentuada de los casquetes de la antártica y de Groenlandia (Kokot et al. 2004). Por otro lado, los impactos ocasionados por este incremento varían entre inundaciones, pérdida de humedales costeros, intrusión de agua salina, aumento de los niveles freáticos y alteración de los procesos morfológicos de erosión y acreción costera (Nicholls, R.J., 2011).

En los últimos 3000 años, el mar ha ascendido un promedio de 0,1-0,2 mm/año, y desde 1900 entre 1 y 2 mm/año (Kokot et al. 2004). Según los datos aportados por los mareógrafos, la tasa de aumento del nivel medio del mar en todo el mundo ha sido de 1.7 mm +/- 0.5 durante el último siglo (1.8 mm +/- 0.5 para el periodo 1961-2003) (IPCC, 2007 & Church, A., y White, J., 2011). Se prevé que la tasa aumente durante el siglo XXI, entre 10 a 90 cm (Zhang et al., 2004). No obstante, los cambios en el nivel del mar no son uniformes. A nivel local y global existirán diferencias dependiendo del grado de urbanización y características geomorfológicas de cada ambiente costero.

En el Perú, según Teves et al. (1996), asumiendo un incremento de 1 metro por encima del nivel actual del mar (máximo escenario propuesto por el IPCC), la altura máxima de inundación sería de 3.40 m en el norte de La Punta (Bahía del Callao) y de 3.66 m en el sur de La Punta (Bahía de Miraflores). El área de potencial inundación entre Conchán y Pucusana es de 11,51 km², lo que corresponde al 59,9% del área que está a menos de 5 m sobre el nivel del mar. Las

playas del área sirven como sitios recreativos. También tienen sitios urbanos, clubes privados, una planta de pescado en polvo, y la zona pesquera de Pucusana.

1.1.2. IMPACTOS EN LAS COSTAS

Los impactos del aumento del nivel del mar en las costas se evalúan teniendo en cuenta el grado de urbanización alcanzado por las zonas costeras. Mientras mayores sean la cantidad de personas e infraestructura ubicadas en el área, mayor será el número expuesto a sufrir daños por el aumento del nivel del mar. De acuerdo con los datos del SEDAC⁴, al año 2007, el 40% de la población mundial vivía en un radio de 100 kilómetros cercanos a la línea de costa. Gran parte de esta población se sitúa en zonas de baja elevación con respecto al litoral (menor de 10 metros), haciendo de estos espacios los más vulnerables ante cualquier cambio en la línea costera.

Los cambios en la línea de litoral se producen por la erosión costera (Aldana, P., Ramírez, A., Godínez, L., Cruz, S. & Juárez, A., 2009). El agente que produce la erosión son las olas. Los factores que condicionan las características del oleaje son los procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y con la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa. El ascenso del nivel del mar es un factor coadyuvante en el proceso de erosión de la costa porque provoca un aumento en el ataque de las olas que terminan erosionando de manera acelerada el perfil costero (Gonzáles, D'Cross & Gómez, 2012). Es decir, el aumento del nivel del mar traslada la acción de las olas hacia la costa y causa erosión (regla de Bruun).

Según Gonzáles et al. (2012), la primera relación entre un incremento en el nivel del agua y la respuesta del perfil de una playa a este aumento, ha sido estudiada por Bruun (1963). En este modelo la respuesta de la playa se

⁴ Socioeconomic Data and Application Center, 2007. Consulta: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/>

considera en términos de un retroceso horizontal del perfil y de la elevación del nivel del mar. El perfil de equilibrio retrocede en respuesta al aumento del NM. Gracias a su sencillez, esta regla ha sido utilizada ampliamente en el estudio de los impactos de la erosión que resultan de la elevación en el nivel del mar.

1.1.3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD COSTERA

Con el fin de evitar las pérdidas económicas y humanas asociadas a las consecuencias del impacto del nivel del mar, es necesario conocer la vulnerabilidad intrínseca del litoral (Anfuso, G. & Martínez, J., 2008).

La vulnerabilidad es un concepto que ha sido abordado desde diferentes enfoques (Füssel, H., 2007). Generalmente, se alude al término para reflejar el potencial de un sistema a experimentar daños en respuesta a una influencia externa, presión o evento adverso. Este término se utiliza en muchas disciplinas como finanzas, salud, riesgos naturales, entre otros (Ros, D., 2014).

En relación al cambio climático, según el IPCC (2014), la vulnerabilidad se define como “la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. Comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación”.

Esta definición enfatiza la capacidad de afrontar los impactos adversos a través de las estrategias y opciones que un sistema tiene para responder y minimizar dichos impactos. En este sentido, el IPCC considera esencial la incorporación de la capacidad de adaptación de un sistema para la gestión del riesgo en los análisis de vulnerabilidad (Méndez, M., 2011).

En otros estudios y evaluaciones del concepto de vulnerabilidad, ésta es dividida en tres componentes: la exposición frente a la amenaza, sensibilidad a ser afectado y la capacidad adaptativa. Según Adger, N. (2006), la exposición es la naturaleza y el grado en que un sistema experimenta el estrés ambiental o social. Las características de este estrés incluyen magnitud, frecuencia y duración de la

amenaza. Por otro lado, La sensibilidad es el grado en el que un sistema se ve afectado o modificado por una perturbación. Por último, la capacidad adaptativa es la habilidad de un sistema para acomodarse a los peligros ambientales o sociales y ampliar su rango de variabilidad con el que le puede hacer frente.

De esta manera, según Ros (2014), se suele aludir a “vulnerabilidad bruta” (exposición + sensibilidad) como una indicación de la susceptibilidad potencial de un sistema ante impactos adversos, mientras la capacidad de adaptación refleja las medidas de reacción o la capacidad de un sistema para afrontar y reducir la “vulnerabilidad bruta”. Cuando los tres componentes se integran se suele aludir a la “vulnerabilidad neta”. Frente a este esquema o modelo conceptual de la vulnerabilidad se suelen emplear índices e indicadores que estén relacionadas con sus tres componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

De esta forma, en esta investigación el concepto de vulnerabilidad enfatiza el análisis de la susceptibilidad intrínseca de un sistema a verse afectado por un evento adverso (en este caso potencial subida del mar que acreciente la erosión costera) (Méndez, M. 2011). Para ello, se hará uso de indicadores que podrán relacionarse con la vulnerabilidad y la opción tomada para su representación cartográfica, será de forma simbólica, es decir colores asociados a tramos costeros o entidades administrativas (Ros, 2014).

En esta investigación solo se evaluará un componente de la vulnerabilidad: la exposición del medio, mediante la aplicación del IVC. No se ha desarrollado ningún indicador o índice relacionado ni con la sensibilidad ni con la capacidad de adaptación (otros componentes de la vulnerabilidad neta). Estos dos últimos componentes pasan a ser línea de investigación futura.

Según Ros (2014), esta aproximación a la vulnerabilidad permite obtener resultados que representan una primera aproximación al análisis de la

vulnerabilidad en los términos definidos por el IPCC, de gran valor para trabajos futuros.

1.2. ANTECEDENTES

Según Damla (2010) en los últimos dos decenios se han llevado a cabo una serie investigaciones y modelos de aproximación de escenarios para estimar la vulnerabilidad de una zona costera ante un probable aumento del nivel del mar y para determinar posibles medidas de adaptación a estos ciclos climáticos, algunas de estas técnicas se enumeran a continuación:

- Metodología común del IPCC (CM)
- Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)
- Evaluación Global de la Vulnerabilidad (GVA)
- Regla de Bruun
- Evaluación de la Vulnerabilidad al aumento del nivel del mar (SURVAS)
- Evaluación de la pérdida de tierras y humedales
- Evaluación interactiva y dinámica de la vulnerabilidad (DIVA)
- Simulador de cambio climático e iniciativas de adaptación (SimCLIM)
- Herramienta de Evaluación de la Vulnerabilidad Comunitaria (CVAT)
- Modelo de simulación de zonas costeras (COSMO)
- Metodología de la Isla del Pacífico Sur (SPIM)
- Planificación de la gestión del litoral (SMP)

Según Ramiery, E., Harley, A., Barbanti, A., Duarte, F., et al. (2011), existen cuatro métodos prevaecientes en las investigaciones, que son los métodos basados en indicadores de aproximación con aplicaciones de SIG, sistemas de soporte basados en SIG, modelos dinámicos de computadora y, por último, métodos basados en índices.

Algunas aplicaciones de diversos autores que han utilizado SIG, modelos climáticos y plataformas de computadora, se describen en los trabajos de Torresan et al. (2008), Tassara, D. & García, M. (2005), Gonzáles et al. (2012), D. S.

Suresh, Silvaligan y Machado (2012), Hinkel, J., Nicholls, R., Tol, R., Wang, Z. et al. (2013), entre otros.

Los estudios de Hinkel et al. (2013) y el de Gonzáles et al. (2012) evalúan la vulnerabilidad costera utilizando softwares especializados como el modelo DIVA y el programa MAGIC-SCENGEN, respectivamente. El modelo DIVA consiste en un software integrado y global de los sistemas costeros que evalúa las consecuencias biofísicas y socioeconómicas de la elevación del nivel del mar teniendo en cuenta la erosión e inundaciones costeras, cambio de humedales e intrusión salina. Por otra parte, el programa MAGIC-SCENGEN determina las consecuencias del aumento del nivel del mar basándose en dos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero (A1B y A1F1). Los dos estudios aplicaron una evaluación con parámetros a escala global para evaluar el grado del impacto erosivo y aumento de inundaciones que pueda provocar la elevación del nivel del mar en playas arenosas.

A diferencia de los autores expuestos anteriormente, las investigaciones de Tassara, D. et al. (2005) y Torresan et al. (2008) desarrollan una evaluación de la vulnerabilidad a escala regional. Se emplean indicadores que caractericen el comportamiento propio de la zona de estudio frente a la erosión marina utilizando material cartográfico y una plataforma SIG. En el caso de Torresan et al. (2008) la investigación desarrolla una comparación de datos, entre los resultados de los indicadores aplicados a escala regional y los parámetros a escala mundial del modelo DIVA en las costas de la región de Veneto (Italia). De esta forma, se obtiene más detalle en el conocimiento de la zona de estudio.

Otro ejemplo en el que se ha abordado el estudio de la vulnerabilidad es el caso de Suresh, D. et al. (2012). Los autores construyeron tres escenarios del aumento del nivel del mar (1m, 2m, 3m) para evaluar impactos del cambio climático y adaptaciones en la zona costera del Golfo de Arabia. Para ello, se aplicó un Índice

de evaluación de Sensibilidad Ambiental (ISA) utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), teledetección y enfoques de Geo-procesamiento.

Tabla 1: Resumen de índices de vulnerabilidad costera aplicadas por diferentes investigadores en sus estudios

Índice	Aplicación Geográfica	Variables en consideración	Referencia
Índice de vulnerabilidad costera (IVC)	USA	Relieve, tipo de roca, accidentes geográficos, cambio relativo del nivel del mar, variación de línea costera, rango de máximo nivel de marea y altura de olas	Gornitz and Kanciruk (1989), Gornitz (1991), Gornitz et al. (1991)
Índice de vulnerabilidad costera (IVC)	USA	Geomorfología, erosión de la costa y acreción, relativo cambio del nivel del mar, altura media de las olas y amplitud de marea	Thieler and Hammer-Klose (1999, 2001) y otros reportes de la USGS
Índice de vulnerabilidad social (SoVI)	USA	Análisis de principales componentes sociales del Censo	Boruff et al (2005)
Calificación de la vulnerabilidad social (CS0VI)	USA	Combinación del CVI y S0VI	Buruff et al. (2005)
Índice de sensibilidad (SI)	Canadá	Relieve, tipo de roca, accidentes geográficos, cambio del nivel del mar, variación de línea costera, rango de máximo nivel de marea y altura máxima de olas	Shaw et al. (1998)
Índice de riesgo de erosión	Canadá	As SI, grado de exposición, nivel de oleaje, relieve	Forebes et al. (2003)
Matriz de riesgo	Sur de África	Localización, infraestructura (valor económico), peligros	Hughes y Brundrit (1992)

Índice de capacidad sustentable (SCI)	Sur de África	Vulnerabilidad y resiliencia a factores humanos naturales, culturales, institucionales, infraestructurales y económicos	Yamada et al. (1995)
Índice de sensibilidad	Irlanda	Pendiente, características de la costa, estructuras costeras, acceso, uso del suelo	Carter (1990)
Índice de vulnerabilidad	Reino Unido	Evento de distribución de máxima frecuencia, tiempo de recuperación	Pethik y Croocks (2000)

Fuente: Mohd Fauzi, Lee Hin y Mohd Kamarul (2014)

No obstante, también se encuentran las investigaciones que han evaluado la vulnerabilidad basándose en la aplicación de diferentes tipos de índices (Tabla 1). Éstos permiten expresar la vulnerabilidad costera con elementos independientes (es decir, indicadores) (Damla, 2010) que se eligen según las características que mejor describan a la zona del litoral para poder obtener resultados concretos. Algunos priorizan la evaluación de parámetros físicos de la costa, mientras que otros priorizan indicadores socioeconómicos, esto varía dependiendo de los objetivos del estudio.

De esta lista de diferentes índices aplicados para medir la vulnerabilidad en la costa, el Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC) es una de las metodologías más utilizadas como una primera aproximación al cálculo de la vulnerabilidad de las costas ante la potencial subida del nivel del mar asociado al cambio climático (Ojeda et al. 2009). Los autores que lo han aplicado han utilizado diversas variables a partir de datos geológicos, climáticos, geomorfológicos y oceanográficos para caracterizar la costa e identificar la vulnerabilidad de diferentes regiones. Los resultados de sus estudios se muestran en mapas para resaltar las zonas de litoral que puedan tener mayor o menor potencial para ser dañadas por efectos de la erosión costera.

La presente tesis toma como referencia metodológica el Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC) elaborado por Gornitz et al. (1991, 1992, 1994); Hammar-Klose & Thieler (1999, 2001) y Shaw J., Taylor R.B., Forbes D.L., Ruz M.-H & Salomon S. (1998) que consiste en la aplicación de seis variables físicas combinadas en una sola ecuación (Tabla 2). Parámetros como geomorfología (a), pendiente de la playa (b), variación de la línea costera (c), tasa de aumento relativo del nivel del mar (d), marea media (e) y altura media significativa de las olas (f).

$$IVC = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

A cada parámetro se le asigna un valor (Tabla 2) entre 1-5 donde 1 es la contribución menor a la vulnerabilidad costera y 5 la mayor. Una vez hecho esto, la fórmula, que consiste en la raíz cuadrada de cada una de las variables, se usa para calcular un único valor numérico que define el grado de vulnerabilidad para cada sector costero en estudio. Según Ronald, D. (2012), pueden existir variaciones en los variables originales ya que, quienes aplican este índice, tratan de adecuarlas a las características de su zona de estudio.

Algunos autores que han aplicado este índice en diversas partes del mundo y adecuando, en muchos casos, la clasificación de las variables, corresponden a Kokot et al. (2004), Diez, P., Perillo, G., & Picollo, C. (2007), Dwarakish et al. (2009), Ojeda et al. (2009), Abuodha, P. A. & Woodroffe, C. D. (2010), Özurt, G., & Ergin, A. (2010), Di Paola, Iglesias, Rodríguez, Benassai, Aucelli & Pappone (2011), Jie Yin, Yin, Jun Wang & Shiyuan Xu (2012), P. Sheik & N. Chandrasekar (2013), Appeaning, K. (2014), entre otros.

Tabla 2: Clasificación de las variables del índice de vulnerabilidad de las costas del Golfo de México-EE. UU.

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Geomorfología ^a	Costa rocosa, acantilados, fiordos	Acantilados medianos, costas indentadas (accidentadas)	Acantilados pequeños, deriva glaciár y llanuras aluviales	Playas de cantos rodados, estuarios, lagos	Playas de barrera, playas de arena, zonas salinas, marismas, manglares y arrecifes de coral
Cambio relativo del nivel del mar (mm/yr)	<1.8	1.8-2.5	2.5-3.0	3.0-3.4	>3.4
Pendiente costera (%)	>0.115	0.115-0.055	0.055-0.035	0.035-0.022	<0.022
Erosión costera/acreción (m/yr)	>2.0	1.0-2.0	-1 - +1	-1.1 - -2.0	<-2.0
Rango medio de marea (m)	>6.0	4.1 - 6.0	2.0 - 4.0	1.0 - 1.9	<1.0
Altura media de la ola (m)	<0.55	0.55 - 0.85	0.85 - 1.05	1.05 - 1.25	>1.25

Fuente: Thieler et al., 2000.

En los últimos años, el IVC ha comenzado a incorporar componentes socioeconómicos (Ronald, 2012). Según Ramiery et al. (2011), éstos componentes como la población, la infraestructura, el valor de la propiedad, (entre otros) se pueden evaluar asociando «otros indicadores e índices de indicadores» socioeconómicos a la fórmula del IVC junto con variables físicas. Por tal motivo, en la presente investigación, aparte de adecuar las variables conforme a las características de la zona de estudio, también se utilizaron variables socioeconómicas que permitieron una mejor y más completa evaluación de la vulnerabilidad costera.

CAPÍTULO 2. ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se presentará, en primer lugar, la localización geográfica del área de estudio; en segundo lugar, se hará una explicación de las características físicas y humanas de la zona de estudio.

2.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

En la presente sección se describirá la ubicación política, extensión territorial y los límites geográficos pertenecientes al área de estudio.

2.1.1. UBICACIÓN POLÍTICA

La zona de estudio está ubicada en el departamento y provincia de Lima y se trata de una faja costera perteneciente a la segunda parte del conjunto de playas y bahías ubicadas al sur de Lima. Según la demarcación política corresponde su ubicación a los distritos de Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar y Pucusana. Los límites de la franja costera en estudio corresponden al norte con el distrito de Villa el Salvador, al sur con el distrito de Chilca y al oeste con el Océano Pacífico.

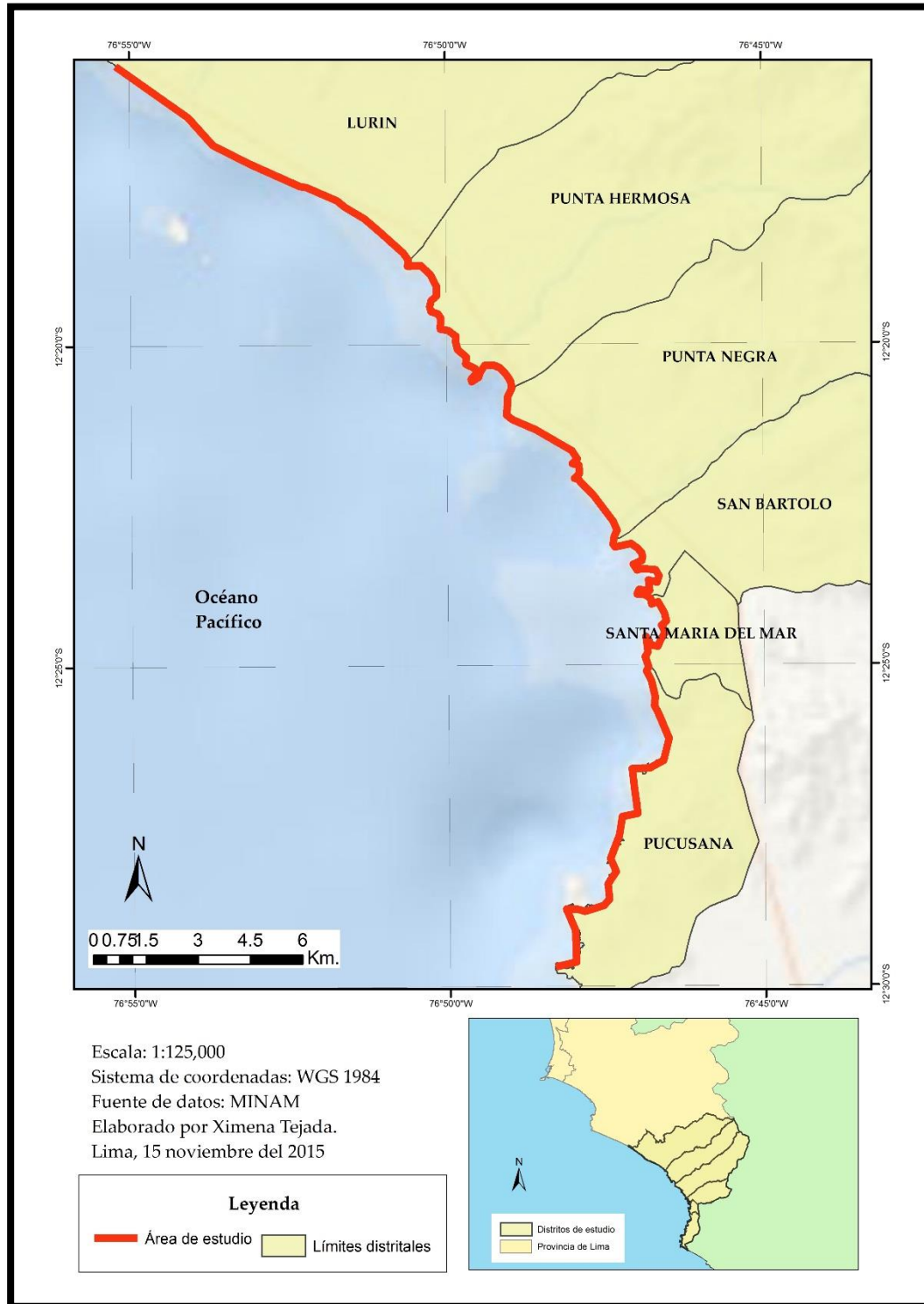
La zona de estudio está comprendida dentro de las siguientes coordenadas: 12° 18' 41" Latitud sur y 76° 54' 49" Longitud oeste, en el extremo norte en Lurín, y 12° 30' 12" Latitud sur y 76° 48' 00" Longitud Oeste, en el extremo sur en Pucusana (Figura 1).

2.1.2. EXTENSIÓN TERRITORIAL

Estos seis distritos ribereños abarcan una extensión de 31,7 km siguiendo la línea costera entre el distrito de Lurín y Pucusana. El ancho de este sector costero y las playas ahí presentes es variable por los procesos urbanos de ocupación establecidos en el área, y debido a la cercanía a las distintas estructuras, algunas a menos de cincuenta metros de la línea de pleamar (nivel más alto que alcanza el agua del mar durante la marea alta). Esta última

distancia está establecida en la ley de playas (Ley N° 26856, 1997) como la mínima con respecto a la pleamar.

Figura 1: Ubicación geográfica del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO NATURAL

En la presente sección se describen las características físicas y geológicas del área de estudio. Se detallarán aspectos climáticos, de suelo, litología, entre otros.

2.2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y GEOLÓGICAS

El área de estudio corresponde a la margen occidental central del Perú comprendida entre los 9° 00' y 13°30' L.S. y está bajo la influencia de la Corriente Peruana o de Humboldt. Se caracteriza por tener un clima desértico, templado, con presencia temporal de neblinas. Presenta altos valores de humedad y lloviznas bajas entre abril y diciembre y sol intenso entre Enero y Marzo con mayor insolación en pampas y tablazos. La clasificación ecológica pertenece a desierto subtropical (Novoa, Z., 2007).

La zona de estudio presenta amplias costas arenosas y pedregosas, playas en medio del desierto costero, lomas, cerros y colinas. La formación de éstas se asocia a hundimientos o subsidencias ya que se expresan en playas bajas, planicies de inundación, terrazas fluviales, entre otros. Entre las formas estructurales que han controlado el modelado de la región cabe mencionar el anticlinal de Lima y los bloques fallados productos de los desplazamientos regionales así como la gran acumulación de arena eólica sobre la zona. Se pueden distinguir unidades geomorfológicas (Palacios, O., Vidal, J., & Churchill, 1992): islas, borde litoral, planicies costaneras y conos de deyección, valles y quebradas.

El borde litoral de la zona de estudio está configurado por bahías, considerándose principales las de San Bartolo y Pucusana; ensenadas, puntas, entre otros. Por socavamiento y erosión se han formado acantilados en su mayoría sub-verticales, cuyo retroceso se debe a la acción de las olas, como el caso entre San Bartolo y Pucusana al sur (Palacios et al. 1992).

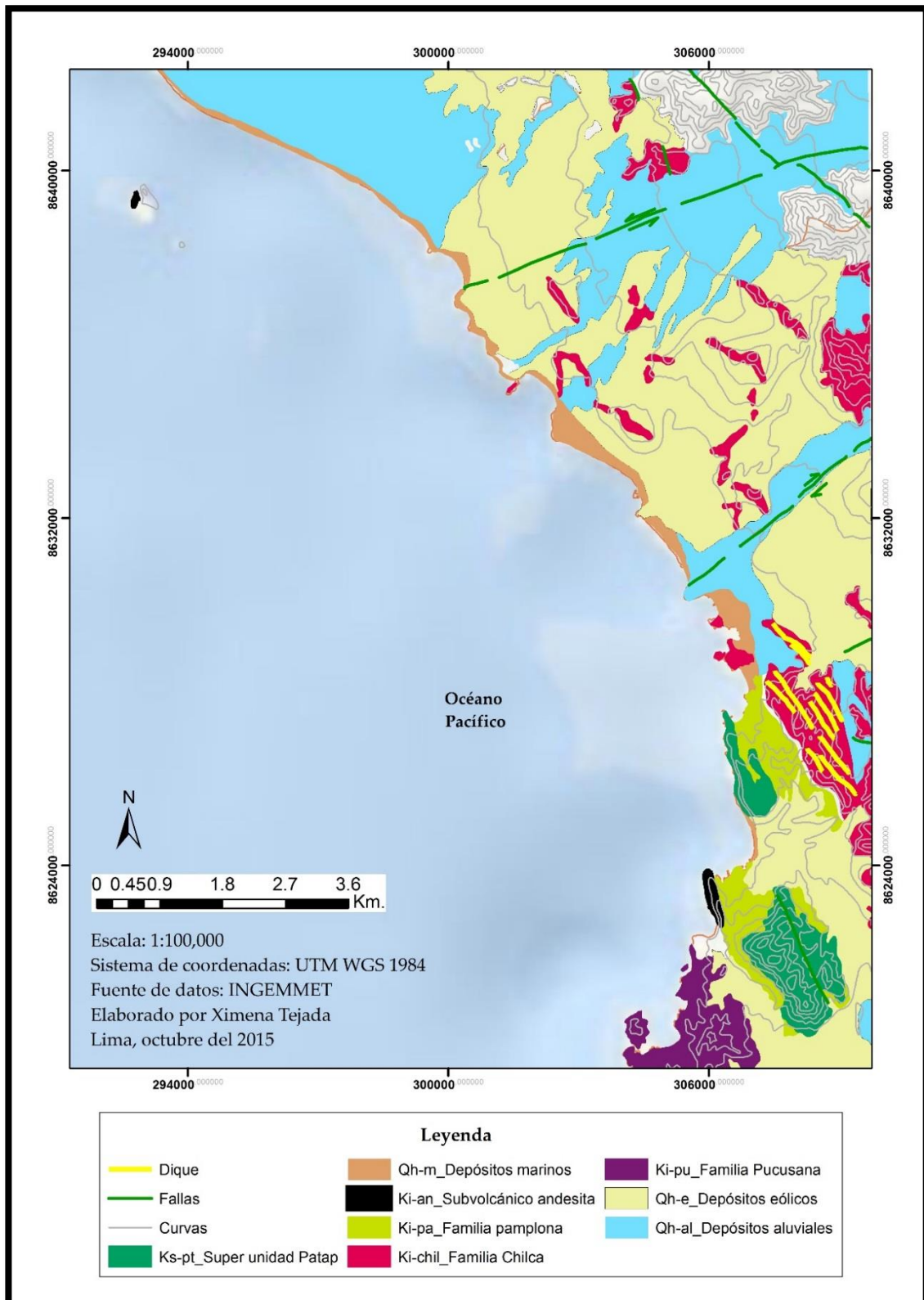
Desde Lurín, se encuentran amplias superficies cubiertas de grava y arena provenientes del transporte y sedimentación del río Lurín y del acarreo eólico

desde las playas. La llanura aluvial de Lurín continúa al sur con una planicie costanera más angosta, frente a Punta Hermosa, San Bartolo hasta Pucusana.

Cabe destacar la presencia importante del batolito de la costa que ha dado lugar a un paquete sedimentario y volcánico causando metamorfismo térmico notable en las rocas. Asimismo, existen numerosos emplazamientos de diques andesíticos, vinculados al magmatismo de Casma o a manifestaciones tardías del batolito (Palacios et al. 1992). En la franja estrictamente costera se puede observar una secuencia marino cenozoico, en donde se asientan depósitos cuaternarios aluviales, fluvio-aluviales y eólicos, teniendo importancia los primeros elementos como material de construcción. Siguiendo al sur de la zona costera se encuentra la formación Pamplona, perteneciente al cretáceo inferior marino formado de areniscas.

Los depósitos marinos cuaternarios encontrados en la zona se caracterizan por ser clásticos que se llevan al mar como carga por los ríos y también como resultado de la acción erosiva de las olas y distribuida por corrientes marinas generadas por el oleaje. Estos depósitos pueden ser identificados a lo largo de toda la costa (Figura 2). Dentro de éstos depósitos encontramos terrazas marinas y zona de marismas (Palacios et al. 1992).

Figura 2: Características geológicas del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

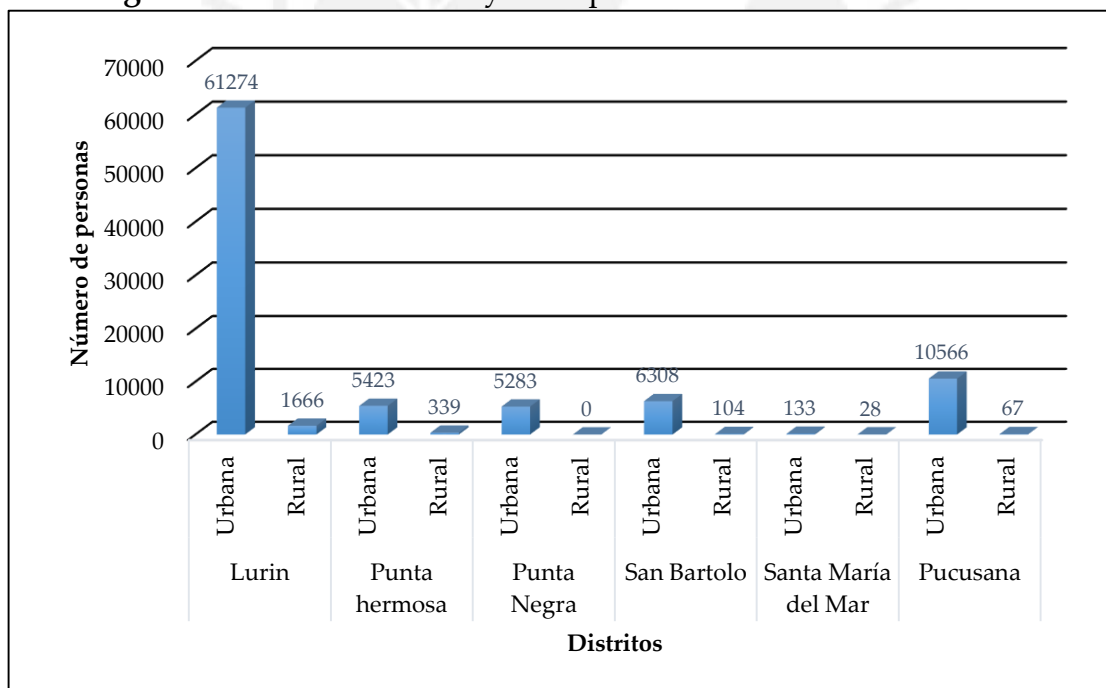
2.3. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO HUMANO

En la presente sección se describen las características socio-económicas del área de estudio. Se detallarán características de la población a lo largo de los años, así como sus actividades económicas predominantes.

2.3.1. CARACTERÍSTICAS SOCIO-ECONÓMICAS

El sector de playas del sur de Lima comprende seis distritos litorales: Lurín, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, Santa María del Mar y de Pucusana. Comprenden una población total de 91,192 personas, de las cuales 88,987 pertenecen al área urbana y 2205 personas viven en un medio rural, según datos del INEI (2007) tal como se detalle en la Figura 3.

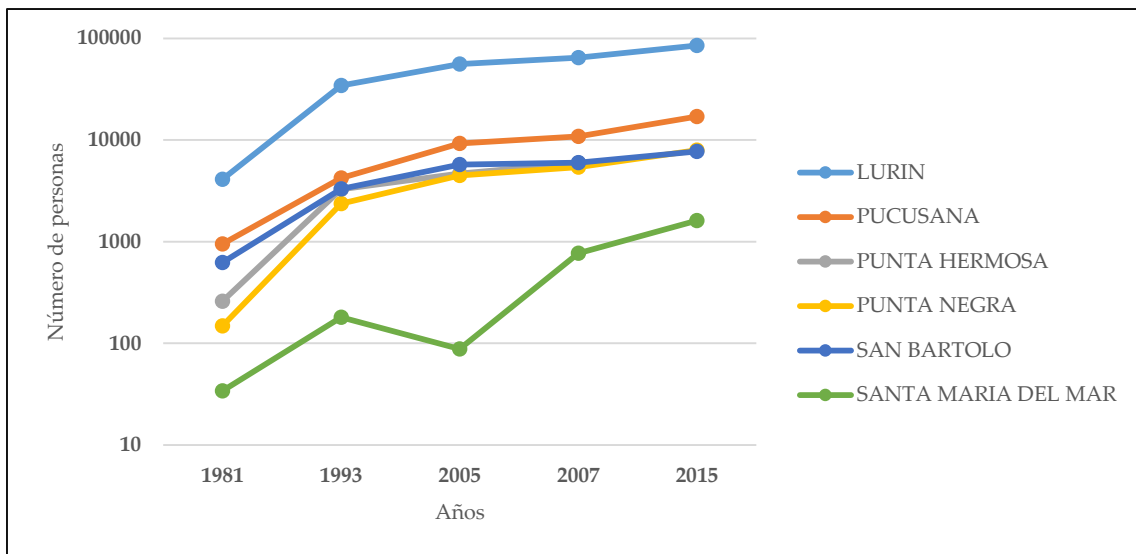
Figura 3: Población urbana y rural por distrito en el área de estudio.



Fuente: INEI, 2007.

La población de los distritos durante las últimas décadas ha crecido rápidamente producto de la urbanización de la ciudad de Lima (Figura 4). La mayor parte de las personas se han asentado muy cerca del litoral.

Figura 4: Aumento poblacional



Fuente: INEI, censos 1981, 1993, 2005 y 2007. Proyección al 2015.

Los habitantes de esta franja costera, por ser la mayor parte población urbana, realizan una variada gama de actividades económicas en diferentes establecimientos, es así que se observa desde restaurantes, discotecas, tiendas, clubes, alquileres o arrendamientos de casas, hoteles u hospedajes hasta granjas de pollos, colegios, entre otras actividades a lo largo de todo el litoral.

Hay una alta actividad pesquera en la zona de estudio y las caletas de pescadores se encuentran en los distritos de San Bartolo, Pucusana, Punta Hermosa y en la playa el Silencio. Esta actividad entrega al mercado más de 10,000 toneladas métricas de recursos hidrobiológicos y solo en el puerto de Pucusana se desembarcó en el año 2015, 11140 toneladas métricas de recursos marítimos (Ministerio de la producción, 2016). De estos lugares, en Pucusana existen alrededor de 538 embarcaciones pesqueras en este distrito (INEI, 2012) y el recurso se comercializa ahí mismo una vez extraído.

Por otro lado, como se vio anteriormente, la población rural es bastante reducida en estos distritos de Lima, sin embargo, en el distrito de Lurín se desarrolla agricultura, ya que aquí se encuentra parte de la cuenca del río Lurín y es ésta la que tiene el mayor número de habitantes en esta actividad económica (2940),

siendo éstos el 42% de usuarios, el mayor número, que trabaja en esta actividad primaria en toda la provincia de Lima. Asimismo, en Lurín se puede observar también establecimientos de zonas industriales junto a zonas agrícolas y algunas viviendas. Es por ello que se le puede llamar a Lurín un distrito Periurbano, pues la agricultura aparece en primer lugar, seguido por actividades industriales y otras recreativas (INEI, 2007).

En los distritos de Punta Negra, Punta Hermosa, San Bartolo y Pucusana las actividades que más destacan, en la zona del litoral, son el comercio al por menor, la construcción y el transporte, almacenamiento y comunicaciones. Las principales actividades son el comercio y el boom inmobiliario. En Santa María del Mar el mayor porcentaje son obreros (54.00 %), en San Bartolo, el 36.65% son empleados, en Punta Negra, el 22.01 % son comerciantes y el Punta Hermosa, el 26.89% son empleados (Ecsa Ingenieros, 2015). Cabe resaltar que las actividades en hoteles y restaurantes tiene un porcentaje bastante elevado en Punta Hermosa. En Santa María destaca el hecho de que tienen un alto porcentaje tanto las actividades de ganadería y agricultura como las inmobiliarias y empresariales.

Las actividades realizadas entre el sector comprendido entre Lurín y Pucusana son variadas y responden a campos diversos. Esto demuestra la intensa actividad antrópica que existe en el área de estudio.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Para el cálculo de la vulnerabilidad costera ante un potencial aumento del nivel del mar, se aplicó una adaptación del Índice de Vulnerabilidad Costero (IVC) propuesto por Gornitz, et al., 1990. Debido a que el análisis abarcó un área particular de estudio, fue necesario establecer unidades de análisis, en las cuales se subdividió toda la zona costera. Una vez definidas las unidades, se procedió a caracterizar la zona de estudio en base a las variables seleccionadas. Todo el procedimiento se detalla a continuación.

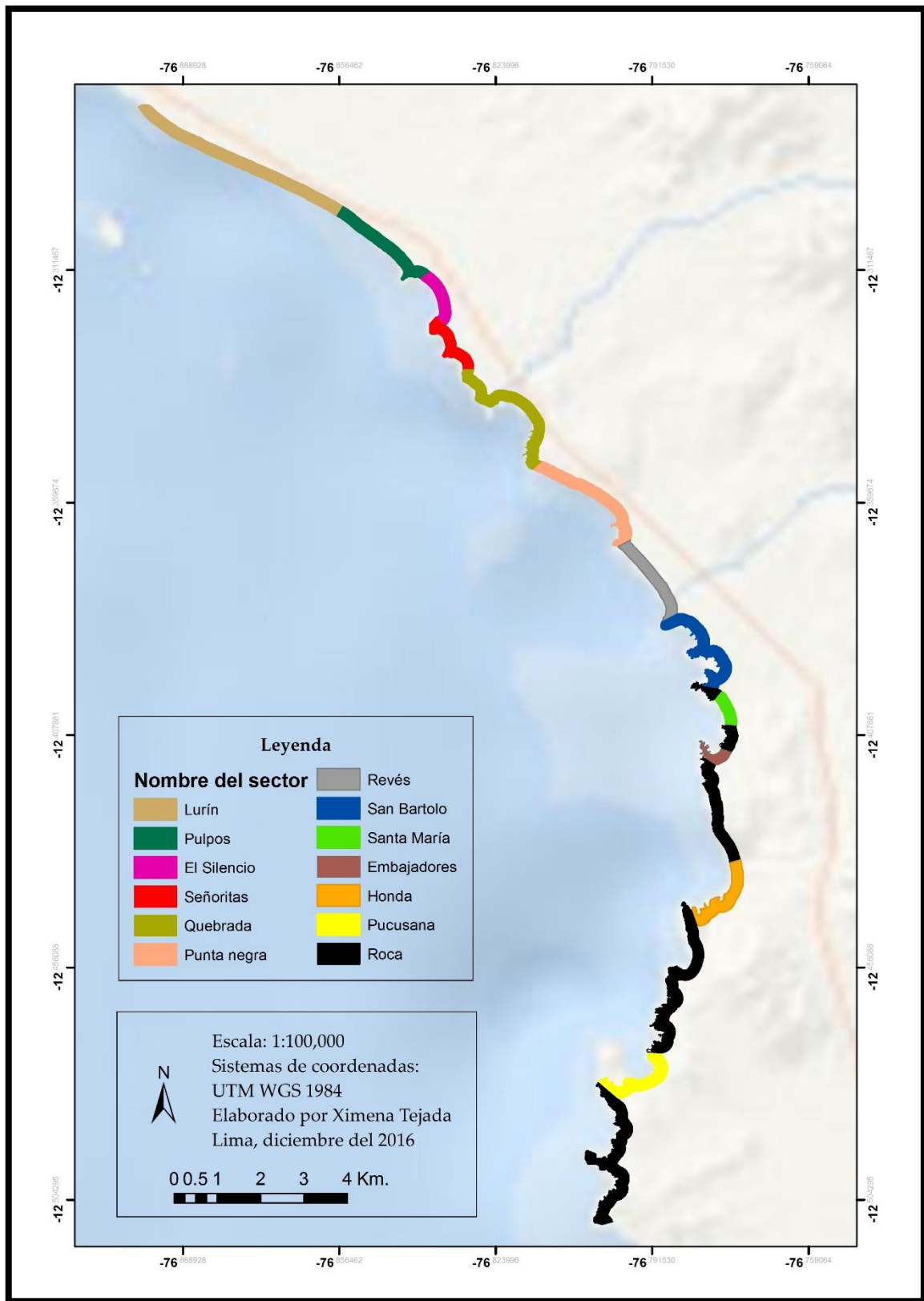
3.1. DIVISIÓN Y DEFINICIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS PARA LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio posee una longitud de 31,7 km desde Lurín hasta Pucusana. Al establecer sectores se consiguió una mejor caracterización y evaluación de la costa para aplicar la fórmula IVC. Cada uno de los 13 sectores tiene características similares, y sus límites fueron establecidos a partir de puntas rocosas prominentes.

Cada unidad de análisis se extiende en longitudes que varían entre 600 y 5000 metros, y se ha considerado de ancho una franja de 250 metros hacia el continente desde la línea de costa (pleamar). Se establece esta medida tomando en cuenta la Ley de playas N° 26856, que determina los primeros 50 metros como la “zona de playas” y a partir de aquí 200 metros más, que corresponden a la “zona de uso restringido”. Este espacio de 250 metros es de uso público, según lo establece la ley.

A continuación, se muestra el mapa en donde se ha indicado cada sector con un nombre específico de alguna de las playas que conforman ese espacio delimitado (Figura 5).

Figura 5: Identificación de las unidades homogéneas para el análisis de la vulnerabilidad a la erosión.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.1. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES ESPECÍFICAS DE ACUERDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Una vez descritas las características del área de estudio, se determinaron las seis variables empleadas en el análisis e incorporadas a la fórmula para evaluar el IVC. Estas variables son las siguientes: geomorfología, pendiente de la playa, desplazamiento de línea de costa, tipo de uso de suelo, densidad poblacional y proximidad a la costa.

- Cálculo y clasificación de la variable “geomorfología”

Según Zújar et al. (2008), la variable “geomorfología” expresa la erodibilidad relativa de las diferentes formaciones costeras. El sistema de clasificación utilizado exige la asignación a cada tramo costero (unidad de análisis) con un valor entre 1 y 5 según su vulnerabilidad (Tabla 3). Un valor de 1 representa una baja vulnerabilidad (acantilados altos sobre rocas coherentes) mientras que un valor de 5 representa un riesgo alto (playas de arena, de barrera, marismas, deltas) (Dwarakish et al. 2009).

Los datos geomorfológicos fueron obtenidos a partir del relevamiento de toda la costa, reconociendo las principales morfologías del litoral. La interpretación previa se realizó a partir de imágenes satelitales LANDSAT 8 TM con resolución de 30 metros. Asimismo, se consultó los mapas geológicos/geomorfológicos del Instituto Geológico Minero Metalúrgico (INGEMMET). También se utilizó fotografías aéreas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1/60 000 (vuelo OEA, 1961).

Tabla 3: Clasificación de la variable “Geomorfología”

VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Geomorfología	Acantilados altos sobre rocas resistentes y consolidadas	Acantilados medios sobre rocas de resistencia media	Acantilados bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erodibilidad, terrazas marinas, colinas y montañas	Playas de arena extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas, playas de cantos rodados y llanuras aluviales	Playas adosadas a humedales, tómbolos, deltas, islas barrera, marismas

Fuente: Adaptado de Zújar et al., 2008

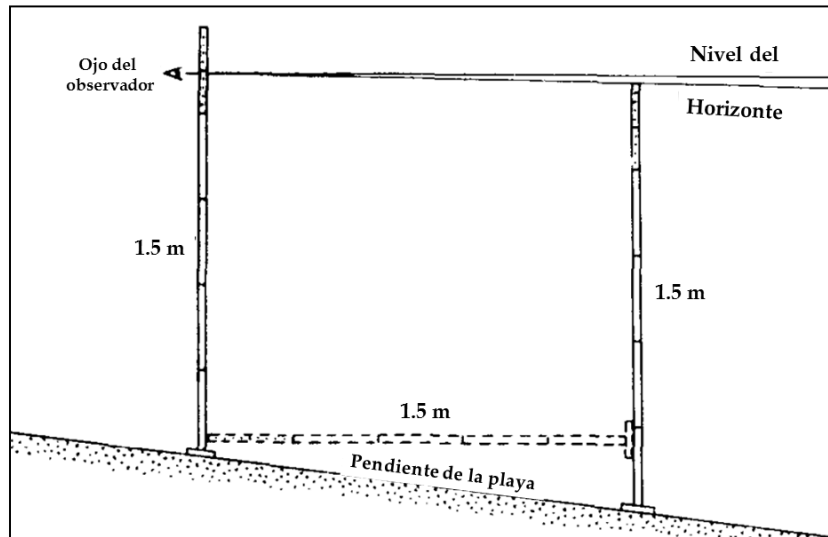
- Cálculo y clasificación de la variable “pendiente de la playa”

La pendiente costera está relacionada con la vulnerabilidad a inundación y la potencial rapidez en el retroceso de la línea de orilla. Por lo tanto, pendientes costeras bajas implican una mayor vulnerabilidad, mientras que pendientes costeras altas involucran menor vulnerabilidad. La clasificación según la pendiente se presenta en la Tabla 4.

Para calcular la pendiente se necesita establecer perfiles de playa y esto se elaboró en campo mediante el Método de Emery (1961). Según este método para levantar el perfil, se utilizan dos varillas de Emery que miden 1.5 m y lleva una escala en centímetros), cada una operada por una persona. El observador (Figura 6) que sostiene la primera vara hacia tierra alinea su ojo con la parte superior de la segunda vara y el horizonte, y en esta posición, el operador tiene por delante de su visión la segunda varilla y la línea del horizonte que servirá como referencia. La segunda vara se ubica a una distancia de 1.5 o 3 metros (variación horizontal) de la primera. La variación vertical es una medida que registra el primer operador y se refiere a la diferencia de elevación de la playa en los dos puntos que están separados 1.5 o 3 m. Para continuar el perfil, una de las varillas se mueve a un punto 1.5 o 3 metros en el lado opuesto de la otra varilla y se realiza

una segunda lectura. Se continúan las lecturas sucesivamente hasta entrar al mar unos metros.

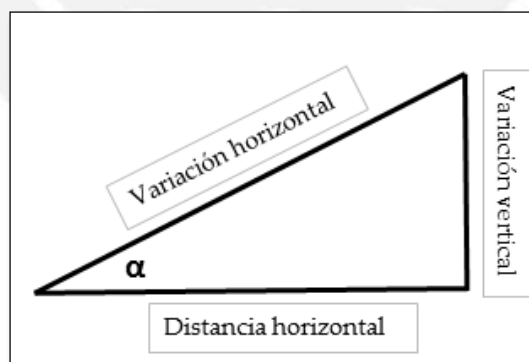
Figura 6: Método de Emery.



Fuente: Adaptado de Emery, 1961

En gabinete, una vez halladas las variaciones horizontales y verticales en el método de Emery, se procedió a obtener la pendiente en grados de cada perfil de playa, mediante cálculos matemáticos que se explican a continuación (Figura 7).

Figura 7: Triángulo para calcular el ángulo de la pendiente y la distancia horizontal de cada perfil.



Fuente: Elaboración propia

Para calcular el ángulo alfa en grados se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Variación Vertical}}{\text{Variación Horizontal}} = \text{sen}(\alpha)$$

$$\alpha = \text{asen} \left(\frac{\text{Variación Vertical}}{\text{Variación Horizontal}} \right)$$

Para calcular la distancia horizontal en metros y poder graficar el perfil de playa se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Variación Vertical}}{\text{Distancia Horizontal}} = \text{tan}(\alpha)$$

$$\text{Distancia horizontal} = \frac{\text{Variación Vertical}}{\text{tan}(\alpha)}$$

Tabla 4: Clasificación de la variable “Pendiente de la playa”

VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Pendiente (°)	Más de 9°	Entre 7° - 9°	Entre 5° - 7°	Entre 3° - 5°	Entre 0° - 3°

Fuente: Basado en Sarajit et al. (2015), Rangel-Buitrago & Posada-Posada (2013) y adaptado a las características de la zona de estudio.

- Cálculo y clasificación de la variable “desplazamiento de la línea de costa (mm/año)”

El desplazamiento de línea de costa representa el comportamiento histórico de la línea costera y su tendencia evolutiva respecto a la componente horizontal (Kokot et al. 2004). Según Martí, M. (2011), ésta es la única variable que, en vez de medir el efecto positivo o negativo de un agente o característica del sistema sobre la vulnerabilidad a erosión o inundación, es la propia medida del impacto. Es decir, la evolución de la línea de orilla es una medida del impacto erosivo producido en ésta. Cuando la tasa de evolución es positiva hablamos de acreción, por otro lado si la tasa es negativa se trata de erosión. En la clasificación de esta variable se asume que cuando la tasa de evolución se halla entre -1,0 y +1,0 m/año, la zona

es estable y recibe un grado moderado de vulnerabilidad. Cuanto mayor es la erosión o el impacto erosivo, la vulnerabilidad aumenta. De forma contraria, si existe acreción, el impacto es menor y también lo es la vulnerabilidad.

El cálculo de esta variable se determinó comparando dos años la variación en metros de la línea de costa mediante tratamiento y análisis de fotografías aéreas obtenidas en el Instituto Geográfico Nacional (año de 1961 a escala 1:60000) e imagen satelital (año 2014, Google Earth - Landsat 8 con resolución espacial de 30 metros). Para cada una de estas fechas se procedió a digitalizar la línea de costa y los dos momentos permitieron una comparación de la variabilidad de línea costera en un rango amplio de 53 años. El programa informático que fue utilizado para el tratamiento posterior de estas imágenes fue el de ArcGis 10.2 (ESRI). Tanto las fotografías aéreas, como la imagen satélite fueron georreferenciadas en el sistema de proyección UTM. Según Espinoza & Rodríguez (2009), para llevar a cabo este proceso de georreferenciación es necesario tomar puntos de control en toda la extensión del documento, especialmente en torno a la costa, para asegurar una mayor exactitud en esa zona, con el objetivo de que la superposición de todas las imágenes sea adecuada. El procedimiento que se siguió fue el siguiente (Rondón, 2011):

1. En el programa Arcmap, activar la extensión "Georeferencing" en el menú "Customize" - "Toolbars" - "Georeferencing".
2. En el menú "Georeferencing" se desactivó la opción "Auto Adjust" y se seleccionó la opción "Add Control Points". Luego se ingresaron las coordenadas de la imagen, obtenidas previamente en Google Earth. A mayor cantidad de puntos de control se logra una mayor precisión en la georreferenciación de la imagen.
3. Al terminar con los puntos se activó la opción "Auto Adjust", para así ver el margen de error (*Total RMS error*) con el que estamos trabajando. De preferencia este error debe ser cercano a 0.

4. Para finalizar se utilizó la herramienta “Rectify” que se encuentra dentro del menú de la barra de herramienta “Georeferencing”. Se le dio un nombre a la nueva imagen ya georreferenciada (formato .tif) y se le definió las coordenadas en la opción de Propiedades de la misma imagen.

El siguiente paso fue el de digitalizar las líneas de costa. También se realizó en el software ArcGis 10.2 y se definió el datum “WGS84” para trabajar la delimitación de las fotos aéreas georreferenciadas. La delimitación de la línea de costa en la imagen satelital se realizó con el software Google Earth Pro, versión gratuita. El criterio para definir las líneas fue el punto medio en la “marca húmeda” que se genera entre el contacto del agua y el continente. Una vez realizada la delimitación se obtuvieron líneas de costas digitalizadas las cuales se utilizaron para aplicar el software llamado DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Esta herramienta es una extensión que amplía las funciones del ArcGis 10.2.

En este software se mide la distancia lineal entre cada par de líneas de costa. La obtención del movimiento acumulado de la línea de costa versus el tiempo en transectos representativos calcula desplazamientos y tasas de variación anual de la línea de costa, y representan una base para derivar curvas de regresión de primer orden (Ojeda et al. 2001). Todos los datos ingresados al DSAS fueron manejados dentro de una “geodatabase personal”, que incluye: las líneas de costa digitalizadas, la línea base, y los transectos perpendiculares que genera el DSAS (Milligan, Wilcox & Hardaway, 2011).

En el caso de la presente investigación, se trabajó con transectos de 700 metros de longitud y con una separación de 50 metros entre cada uno. A través de estos transectos, el programa DSAS calcula las tasas de variación aplicando varios métodos estadísticos que son mostrados en la tabla de atributos y se denominan como: Tasa de punto final (“The End Point Rate”), Movimiento neto de la línea

de costa (“Net Shoreline Movement”) y Distancia total entre líneas de costa (“Shoreline Change Envelopment”), entre otros (Gentil de Farias & Parente, 2010). De éstos, el EPR fue el resultado más importante para el cálculo de la variación y se obtiene determinando la distancia entre el litoral más antiguo y el más reciente de los datos y dividiéndolo por el número de años entre ellos. Este método proporciona una tasa neta precisa de cambio a largo plazo y es relativamente fácil de aplicar a la mayoría de las costas, ya que sólo requiere de dos fechas (Milligan et al., 2011). En la Tabla 5 se presenta la clasificación de esta variable:

Tabla 5: Clasificación de la variable “Desplazamiento de la línea de costa”

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Desplazamiento de línea costera (m/año)	> -0.10	-0.15 - -0.10	-0.20 - -0.15	-0.25 - -0.20	< -0.25

Fuente: Gornitz et al., 1990, citado por Kokot et al. (2004) y adaptado a las características de la zona de estudio.

- Cálculo y clasificación de la variable “tipo de uso de suelo”

Los espacios de humedales y la franja de línea costera de países tropicales y subtropicales son cada vez más propensos a ser empleados por las poblaciones circundantes durante las últimas décadas, especialmente para el turismo. El análisis de los tipos de uso del suelo y sus impactos sobre el ambiente permite diseñar planes prospectivos basados en la sustentabilidad de sus recursos naturales, beneficios socio-económicos y servicios ambientales (Herrera-Silveira, J., Comin, F., Aranda-Cirerol, N., Troccoli, L. & Capurro, L., 2004). Para determinar el tipo de uso de suelo se utilizó imágenes satelitales (Google Earth-Landsat 8), se consultaron los planos de zonificación disponibles de cada uno de los distritos y se realizó trabajo de campo para el reconocimiento de las

actividades y usos que se le da a la zona de estudio. En la Tabla 6 se presenta la clasificación:

Tabla 6: Clasificación de la variable “Usos de suelo”

VARIABLES	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Usos de suelo	Áreas baldías, abandonas, protegidas, sin infraestructura, cuerpos de agua	Tierra estéril con matorrales, pastos, plantaciones e infraestructura espaciada	Asentamiento comercial disperso	Zona residencial de baja densidad	Zona residencial, recreativa y comercial de alta densidad

Fuente: Basado en Sarajit et al. (2015), Rangel-Buitrago et al. (2013) y adaptado a las características de la zona de estudio.

- Cálculo y clasificación de la variable “densidad poblacional”

Según Cruz, Mendoza & Silva (2014), la densidad poblacional es una variable muy importante al momento de evaluar la concentración de población en los primeros niveles de elevación. Este define la vulnerabilidad de unas zonas respecto de otras para ciertos impactos en las costas, como la subida del mar, la relación de habitantes y la superficie afectada por cotas. La densidad poblacional en esta investigación solo considera la población asentada en los primeros 250 metros que van desde la línea de costa hacia el continente. El área de cada uno de los trece sectores de estudio fue obtenida mediante el programa ArcMap. Los datos de la cantidad de población por manzanas fueron obtenidos tomando como base los datos del INEI (2007) con proyección al año 2015 y de otras fuentes⁵. La clasificación se presenta en la Tabla 7.

⁵ Los datos de la población a nivel de manzanas fueron obtenidos de una empresa privada que pide sus datos se mantengan en reserva.

Tabla 7: Clasificación de la variable “Densidad poblacional”

VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Densidad Poblacional (hab./km ²)	1-100	101-200	201-400	401-600	>600

Fuente: Basado en Sarajit et al. (2005) y adaptado a las características de la zona de estudio.

- Cálculo y clasificación de la variable “Distancia a la infraestructura”

Para evitar que las infraestructuras y asentamientos que se encuentren más cercanas a la playa se vean afectadas por fenómenos naturales, una solución conceptual consistiría en mantener cierta distancia con respecto al nivel del mar durante la pleamar (Ley de Playas) de tal manera que permita disipar la energía del oleaje, dejar espacio a procesos naturales de erosión y sedimentación, y también dejar un área para bañistas y otras actividades. Por lo tanto, el criterio de “Distancia a la infraestructura”, también llamado por otros autores (Rangel-Buitrago N., & Posada-Posada, 2013; Sheik & Chandrasekar, 2011; entre otros) como “Ancho de playa” o “Proximidad a la costa” representa el alcance y área de influencia de ciertos impactos de las olas u otras dinámicas costeras que podrían afectar a las personas y a la infraestructura cercana al mar.

Sin embargo, existen casos en que el factor proximidad puede no ser crítico debido al efecto protector causado por la elevación del terreno, tal es el caso de zonas altas como los acantilados, terrazas marinas de considerable altura o infraestructura construida sobre puntas rocosas.

Esta variable se midió asignándole un peso a cada distancia. El peso fue asignado de acuerdo al área de infraestructura. De esta manera se obtuvo la distancia final por unidad de análisis que fue resultado de un promedio ponderado en base a la infraestructura construida en la zona de estudio.

La distancia hacia la primera infraestructura (la más cercana) se midió desde la línea de costa del año 2014 digitalizada en Google Earth. Asimismo, el área de infraestructura construida fue obtenida desde los planos catastrales actualizados

(al año 2015) a nivel de manzanas de cada uno de los seis distritos que conforman el área de estudio. Se midió el área de infraestructura de los primeros 250 metros hacia el continente.

Inicialmente, el procedimiento consistió en primero separar cada uno de los trece sectores en tres partes iguales (de igual área). Esto se debió a que la infraestructura del área de estudio no está construida de manera homogénea y para realizar un cálculo más preciso, era pertinente dividir cada sector en partes más pequeñas, que se ajusten adecuadamente al fraccionamiento adoptado. En segundo lugar, en cada una de las tres partes se halló la distancia a la infraestructura que se encontrase más cercana a la línea de costa. Posteriormente, se halló el área de infraestructura en cada una de las partes divididas. Por último, se calculó la distancia final en los trece sectores de estudio, sumando y multiplicando el área de infraestructura por la distancia más cercana. La clasificación de la vulnerabilidad con respecto a esta variable (Tabla 8) está adaptada a las características del área de estudio y se basa en los criterios de Rangel & Posada (2013).

Tabla 8: Clasificación de la variable “Distancia a la infraestructura”

VARIABLE	MUY BAJO	BAJO	MODERADO	ALTO	MUY ALTO
	1	2	3	4	5
Distancia a la infraestructura (m)	> 80	80-60	60 - 40	40 - 20	< 20

Fuente: Basado en Rangel & Posada (2013) y adaptado a las características de la zona de estudio.

3.2. APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE EVALUACIÓN

Las variables descritas anteriormente pueden ser combinadas para producir un índice general que permita identificar las zonas costeras vulnerables frente a un potencial aumento del nivel del mar.

El sistema de ponderación (de 1 a 5) empleado con las 6 variables permite su integración en una ecuación que, finalmente, proporciona el Índice de

Vulnerabilidad Costera (IVC). En la fórmula se coloca el valor final clasificado (de 1 a 5):

$$IVC = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}}$$

Siendo a: geomorfología, b: pendiente de playa, c: desplazamiento de línea de costa, d: tipo de uso de suelo, e: densidad poblacional y f: densidad a la infraestructura.

El valor del IVC calculado se divide después en 4 clases utilizando como límites los percentiles correspondientes, con el fin de ordenar los resultados obtenidos. De esta forma se pueden identificar los tramos según su vulnerabilidad relativa, sin que el valor en sí mismo del CVI se asocie a cambios específicos de tipo físico. En el presente estudio se utilizaron los percentiles 25, 50 y 75 y se dividieron los valores en “Baja, Moderada, Alta y Muy alta” vulnerabilidad.

Según Zújar et al. (2008), los resultados de la aplicación de esta metodología, al ser generados a partir de una geodatabase y la utilización de diferentes técnicas de análisis espacial que facilitan los SIG, pueden finalmente ser expresados de forma estadística o cartográfica. De esta manera, después de aplicar esta fórmula y obtener los valores se procedió a elaborar los mapas que son la base cartográfica en donde se observan los resultados finales de vulnerabilidad.

Con este índice se quiere evaluar la vulnerabilidad frente a la erosión del oleaje de cada sector costero ante una potencial subida del mar y su capacidad de adaptación, utilizando para ello un conjunto de variables físicas y humanas. Este es el motivo por el que se utiliza un sistema de representación de los resultados en donde cada nivel de vulnerabilidad relativa se asocia a un tramo costero (de diferente magnitud según escala de estudio) (Zújar et al. 2008).

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

En el presente capítulo se presentan los principales resultados de la investigación. En primer lugar se muestran los resultados de la caracterización física y humana de la zona de estudio en base al análisis de las variables de estudio: pendiente de la playa, geomorfología, línea de costa, uso de suelo, densidad poblacional y densidad a la infraestructura. En segundo lugar, se detallan los principales resultados de la aplicación del IVC en la zona de estudio.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

En los subcapítulos siguientes, en primer lugar, se realizará una descripción general de cada una de las seis variables o parámetros físicos y socioeconómicos a evaluar. En segundo lugar, se detallarán los resultados por sector de la aplicación de la fórmula del IVC.

4.1.1. GEOMORFOLOGÍA

En este subcapítulo se detallan las principales características geomorfológicas de la zona de estudio (Figura 10) y en la Tabla 9 se observan las principales unidades geomorfológicas predominantes en las unidades de análisis propuestas para el área de estudio.

En general, en el área de estudio de esta investigación se aprecian en total doce geoformas como islas (islas de Pachacamac y Pucusana), playas de cantos y de arena, puntas rocosas, terrazas marinas, mantos de arena, entre otros.

La franja costera de estudio se encuentra cubierta en su primera parte, entre Lurín y Pulpos, por sedimentos aluviales. Este sector costero presenta una costa baja arenosa instalada sobre depósitos aluviales del río Lurín. La geoforma “Llanura aluvial” se caracteriza por ser una “planicie formada a partir de la deposición de aluvio, adyacente a un río que periódicamente la inunda. También conocida como planicie fluvial o de lavado” (Osvaldo, J., 1987). Después de esta costa baja

y arenosa, en la playa de El silencio se encuentra un “acantilado muerto” (Figura 9b) de material sedimentario que ya no se encuentra en contacto con el mar.

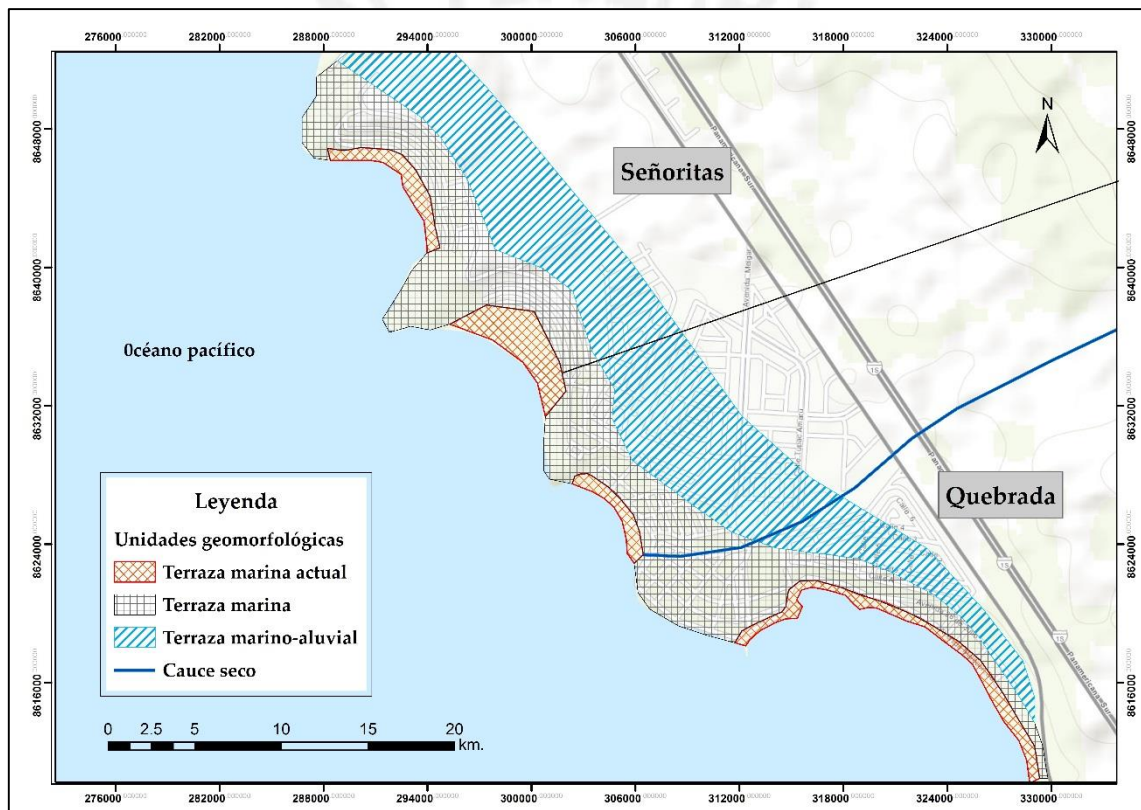
Terminando el acantilado muerto, la geoforma que más representa y caracteriza al sector costero son las “terrazas marinas” (Figura 9c). Estas son planicies sub-horizontales compuestas de arena media a fina, de material aluvial y marino. Aquí se asientan la mayor parte de las viviendas. En la mayoría de los sectores presenta poca pendiente. Como se observa en la Figura 8, se realizó un mapa más detallado de las terrazas marinas representadas en dos sectores costeros que conforman la zona de estudio. Éstos están conformados tres tipos de terrazas. La terraza marina actual, está compuesta por depósitos de arena media a fina en la zona de playa y otros sectores del balneario; la segunda, la terraza marina, está compuesta por depósitos marinos y es una transición hacia la terraza marino-aluvial que corresponde a una planicie sub-horizontal de materiales de origen aluvial y marino, compuesta por gravas y arenas provenientes del transporte y sedimentación del río Lurín (Tavera, H., Bernal, I. & Gómez, JC., 2010).

El viento tiene un papel fundamental en el modelado del relieve en el sector de estudio. El resultado son “mantos de arena” o cubiertas arenosas. Están constituidos por depósitos eólicos, específicamente por arenas cuarzosas de grano medio a fino, bien seleccionadas, con moderado contenido. Cubren una extensa parte del territorio.

El sector de estudio también se caracteriza por presentar playas muy variadas. Se define “playa” como la “zona de material no consolidado que se extiende hacia tierra desde la línea de baja marea hasta donde se nota un cambio notales en los materiales o en las condiciones fisiográficas o donde la línea de vegetación es permanente” (Osvaldo, J., 1987). Las playas en el sector están caracterizadas por ser de bolsillo (“pocket beaches”), y tener diferentes dimensiones, la mayoría limitadas por promontorios rocosos, que pueden ser de arena o de cantos. Las

primeras son las mejores representadas como receptoras de los materiales procedentes de la erosión de terrazas y acantilados y reciben aportaciones de sistemas fluviales. Son de mediana extensión, con anchuras superiores que en el caso de Lurín superan los cien metros. Por otro lado, las playas de cantos, están desarrolladas en sectores donde apenas llena el aporte de arena, o donde la exposición al oleaje es menos muy intensa. Los cantos proceden de los mismos acantilados. Las playas de cantos mejor representadas están en el distrito de Punta Hermosa y San Bartolo (Figura 9a).

Figura 8: Terrazas marinas en dos sectores de estudio..



Fuente: Adaptación propia de Tavera et al., 2010.

A pesar de las condiciones ambientales ser muy secas en el sector de estudio, el agua de lluvia, siendo muy escasa, juega un papel dinámico a escala geológica, y actuando de forma esporádica con fenómenos espontáneos que en algunas ocasiones suelen ser muy intensos. De esta manera, el agua de escorrentía tiene un papel fundamental en el modelado del relieve. La mayor parte de

“quebradas” se encuentran secas y solo se activan en épocas de fuertes precipitaciones. El desarrollo de estos sistemas fluviales tiene su eje perpendicular a la alineación costera y están en su mayoría encajados en los depósitos de abanico aluviales, pero también erosionan el sustrato rocoso.

Más al sur de la zona de estudio, entre las playas de San Bartolo y Pucusana, el relieve se presenta más accidentado con una costa alta rocosa, donde las playas de bolsillo son de menores dimensiones. El material rocoso, predominante son las “puntas rocosas” (Figura 9d). Los promontorios o puntas rocosas forman los bordes longitudinales de las playas y están constituidos por mega bloques y bloques subredondeados procedentes del desmantelamiento del material aluvial. También se observan intrusiones plutónicas y el de mayor entidad se incluyen dentro del denominado “Batolito de la Costa”, pertenecientes a la Superunidad Patap que está constituido por dioritas que se instruyen paralelamente a la dirección andina entre Santa María.

Por último, otras geoformas que caracterizan el sector de estudio son las “colinas” e “islas”. Las primeras están conformadas por lomas que se distribuyen a lo largo del litoral de forma paralela a éste y están limitadas por estribaciones andinas. La segunda geoforma se puede apreciar a lo largo del sector de estudio en el que se reconocen cinco “islas” de diferente tamaño. Entre éstas, las más notables son las islas de Pachacamac, de Pucusana y Punta Hermosa.

Figura 9: Imágenes de algunas geoformas. a) playa de cantos, b) acantilado muerto, c) terraza marina, d) punta rocosa.



Fuente: Fotos propias.

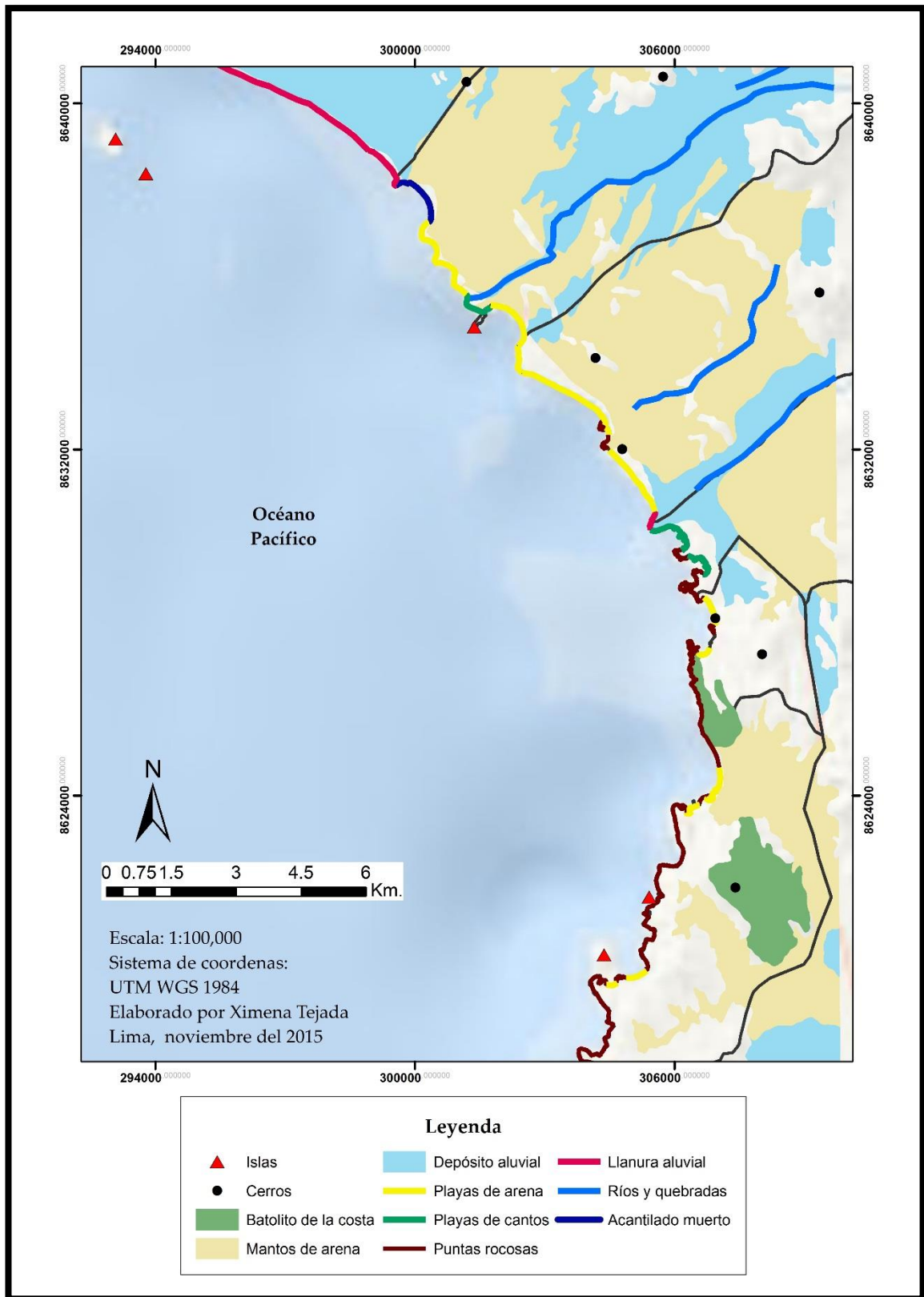
En general, la mayor parte de los sectores presentan terrazas de depósitos marinos y aluviales (existe alternancia de capas de depósitos marinos y aluviales) y en la primera parte del área de estudio, predominan los depósitos eólicos. Hacia el sur del área de estudio desde San Bartolo hasta Pucusana, se presentan más estratos rocosos de roca ígnea y las terrazas son más estratificadas.

Tabla 9: Unidades geomorfológicas predominantes en las unidades de análisis en el área de estudio.

Sectores	Geomorfología
Lurín	Amplia llanura aluvial, playa de arena
Pulpos	Llanura aluvial de menor dimensión, playa de arena
Silencio	Playa de arena, terraza de mediana altura de depósitos eólicos
Señoritas	Playas arenosas, terrazas marino aluviales de mediana altura
Quebrada	Terraza marino aluvial de mediana altura, quebrada con cauce seco en el centro y colinas en la parte sur
Punta negra	Playas de arena, llanura marino aluvial reciente y primer nivel de terraza de poca altura
Revés	Playas de arena, amplia llanura marino aluvial
San Bartolo	Playas de cantos, terrazas recientes y antiguas en altitud
Santa María	Playa de arena formando terrazas diferenciadas
Embajadores	Playa de arena, terraza marino actual y marino aluvial y presencia de colinas de rocas ígneas que rodean el sector
Honda	Terrazas de mayor altitud, muchas playas cerradas por salientes de roca
Pucusana	Playas de arena de pequeñas dimensiones, terraza marina de baja pendiente
Roca	Puntas rocosas, pendientes elevadas

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10: Unidades geomorfológicas



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. PENDIENTE DE LA PLAYA

En este subcapítulo se detallan los perfiles que se realizaron en algunas playas que conforman el sector de estudio para calcular la pendiente. Se mencionan las principales características de cada playa y de cada perfil.

Se realizaron quince perfiles de playa en el área de estudio para poder conocer las características principales de cada unidad de análisis o sector costero seleccionado así como para calcular la pendiente (Tabla 10 y Figura 11). Los balnearios donde se han realizado los perfiles han sido de acceso directo al público. A excepción del balneario de "Tiza" donde el acceso estuvo restringido por obras de construcción. Durante la realización de los mismos, se observó alta presencia antrópica en las playas, la mayor parte de ellas con construcciones para el comercio, recreación, residencias, entre otros. También hay infraestructura como diques y rompeolas.

En la Tabla 10 se muestran los resultados de cada perfil levantado en campo por el método de Emery. Con estos datos fue posible obtener la pendiente correspondiente a cada sector de estudio tal como se observa en la Tabla 11. Asimismo, en esta última tabla se observa también información del margen de error que fue obtenido en base a la distancia horizontal y que indica la variación horizontal de la marea, necesaria de conocer para analizar la variación espacio temporal de la línea costera.

Tabla 10: Información de perfiles levantados en campo

Nombre perfil	Fecha de toma de datos	Coordenadas UTM	Hora de término del perfil	Pendiente (en grados)
San Pedro	02-08-15	0295458 E 8640925 N	14:02 pm	1.81
Pulpos	02-08-15	0299375 E 8638784 N	15:13 pm	3.77
El Silencio	17-07-15	0300296 E 8637880 N	13:45 pm	4.51
Caballeros	17-07-15	0300843 E 8636311 N	14:30 pm	3.61
Punta Roca	17-07-15	0302936 E 8633698 N	16:40 pm	3.77
Playa Punta negra	22-11-15	0304404 E 8632823 N	11:19 AM	2.75
Playa "Bikinis"	22-11-15	030454 E 8632413 N	11:52 AM	5.40
Playa Negra	30-10-16	0301742 E 8635373 N	11:46 AM	4.00
Playa Blanca	30-10-16	0302545 E 8634931 N	12:15 PM	5.9
San Bartolo	22-11-15	0306289 E 8629871 N	12:40 PM	8.96
Santa María grande (1)	17-08-15	0306900 E 8628357 N	12:50 PM	3.02
Santa María chica (2)	13-05-15	0307109 E 8627749 N	13:30 p.m.	3.83
Embajadores	13-05-15	0306676 E 8627250 N	11:30 AM	5.08
Naplo	16-08-15	0304987 E 8619731 N	14:43 pm	2.75
Pucusana	16-08-15	0304481 E 8619614 N	11:30 AM	2.75

Fuente: Elaboración propia.

Tal como se observa en la Tabla 10 los sectores con mayor pendiente son Revés, San Bartolo y Embajadores. Son sectores que presentaron poca distancia horizontal en las playas de arena (a excepción de pocas playas de cantos rodados en San Bartolo), y poco espacio de berma.

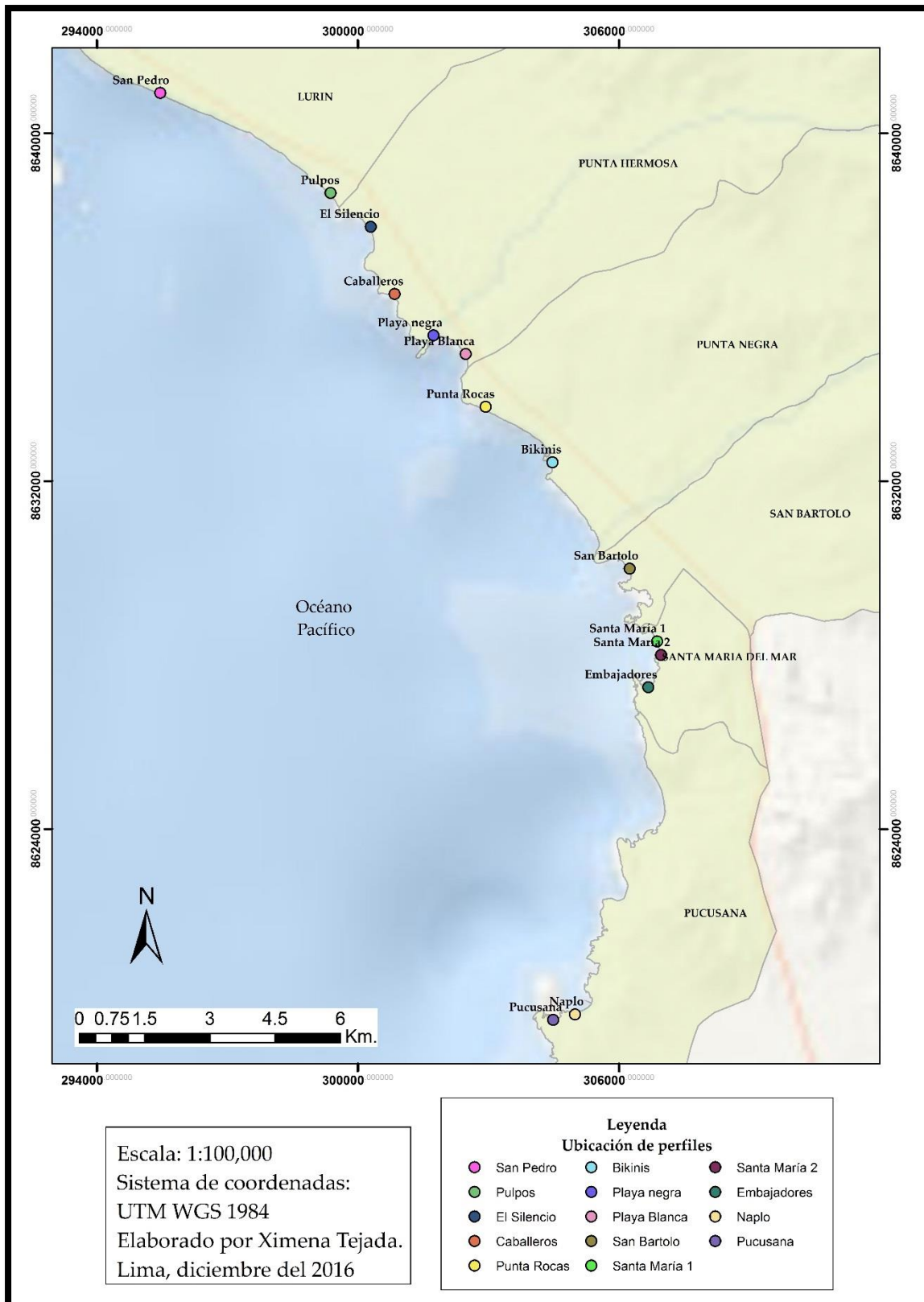
Por el contrario, los sectores con menor pendiente son Lurín y Pucusana. El primer de ellos presenta la mayor distancia horizontal, se caracteriza por ser una playa amplia de arena. La mayor parte de sectores presenta una pendiente de 3° aproximadamente.

Tabla 11: Resultados de pendiente y margen de error por sector de estudio

Sectores	Pendiente (°)	Amplitud máxima de marea (m)	Distancia horizontal (m)	Margen de error estimado (m)	Longitud de cada sector (m)
Lurín	1.81	1.450	45.81	22.91	5133.41
Pulpos	3.77	1.450	21.98	10.99	2616.11
Silencio	4.51	1.450	18.36	9.18	1062.60
Señoritas	3.62	1.450	22.94	11.47	1766.96
Quebrada	4.98	1.450	17.31	8.66	3639.84
Punta negra	3.26	1.450	26.05	13.03	3268.01
Revés	5.41	1.450	15.31	7.66	2140.61
San Bartolo	8.97	1.450	9.19	4.59	3440.33
Santa María	3.43	1.450	24.51	12.26	654.95
Embajadores	5.08	1.450	16.30	8.15	953.62
Honda	3.04	1.450	39.75	19.87	2453.88
Pucusana	2.82	1.450	29.46	14.73	2141.45

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Ubicación de los perfiles de playa en el área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

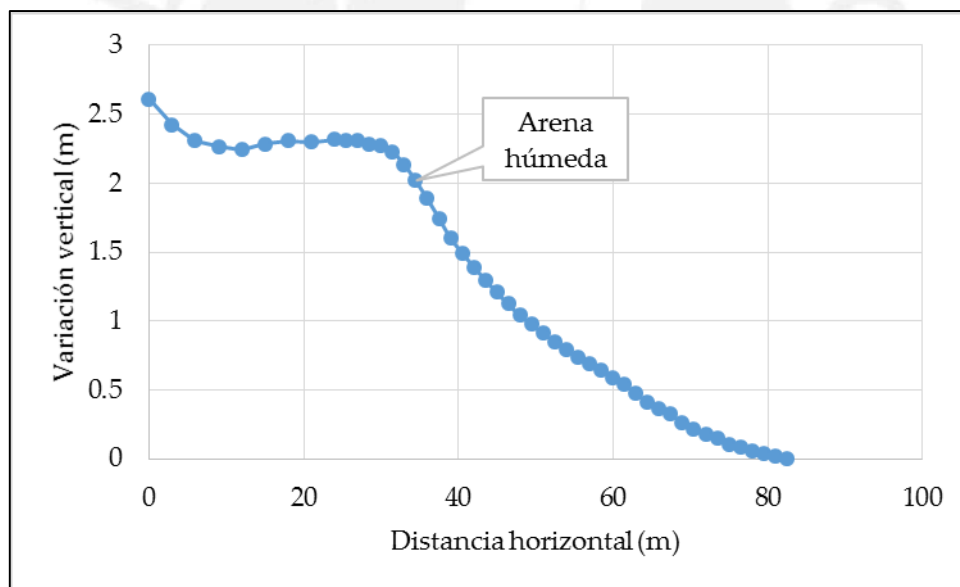
- **PERFILES DE PLAYA**

A continuación se explica a detalle cada uno de los 15 perfiles medidos en los sectores de estudio. Se mencionan las principales características de cada una de las playas y de la pendiente final.

- **PLAYA SAN PEDRO**

La playa San Pedro pertenece al distrito de Lurín, es una playa abierta que ocupa una vasta extensión de costa arenosa, tiene un ancho de 82.50 m, una longitud de 4,475 m y tiene una pendiente de 1.81° . Se destaca la alta presencia de puestos de venta cerca al mar, a lo largo de la playa, constituyéndose en una zona más comercial (Figura 13). No hay presencia de residencias en esta playa. Presenta un perfil estable de poca pendiente (Figura 12).

Figura 12: Perfil de playa San pedro



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13: Presencia de comercio.

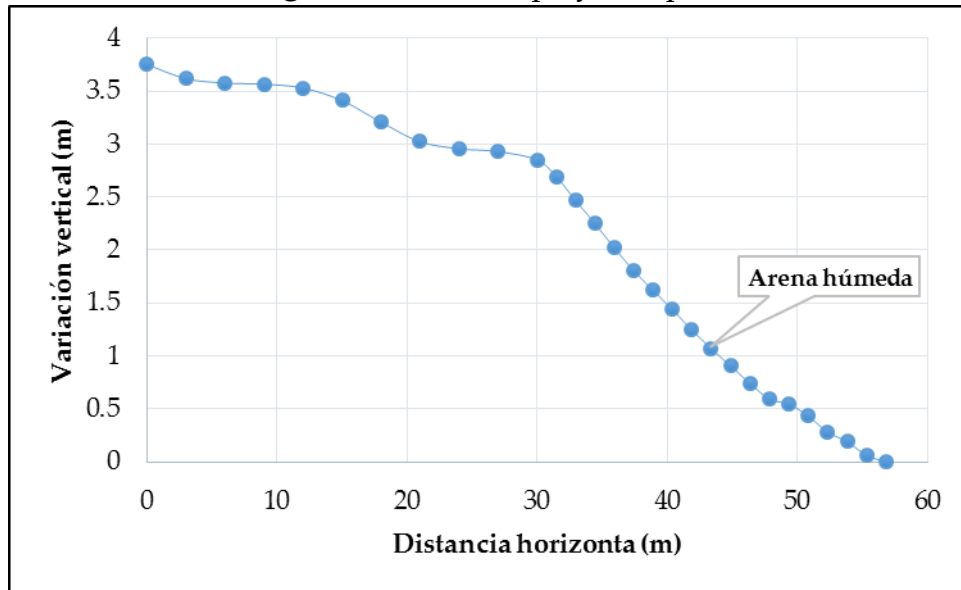


Fuente: Foto propia.

- **PLAYA PULPOS**

La playa Pulpos pertenece al distrito de Lurín y está delimitada por dos pequeños saliente rocosos que la delimitan al Norte y al Sur. Tiene un ancho de 57 metros, una longitud de 932.20 m y 3.77° de pendiente. Es una playa de arena, cerrada por un acantilado muerto y en donde se destaca una fuerte presencia de construcciones de viviendas, ubicadas tanto en el acantilado como en la zona cerca al mar. Presenta un perfil estable con una pendiente relativamente alta por estar cerrada, encajonada y en donde la acción de las olas es mayor.

Figura 14: Perfil de playa Pulpos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15: Alta infraestructura urbana.



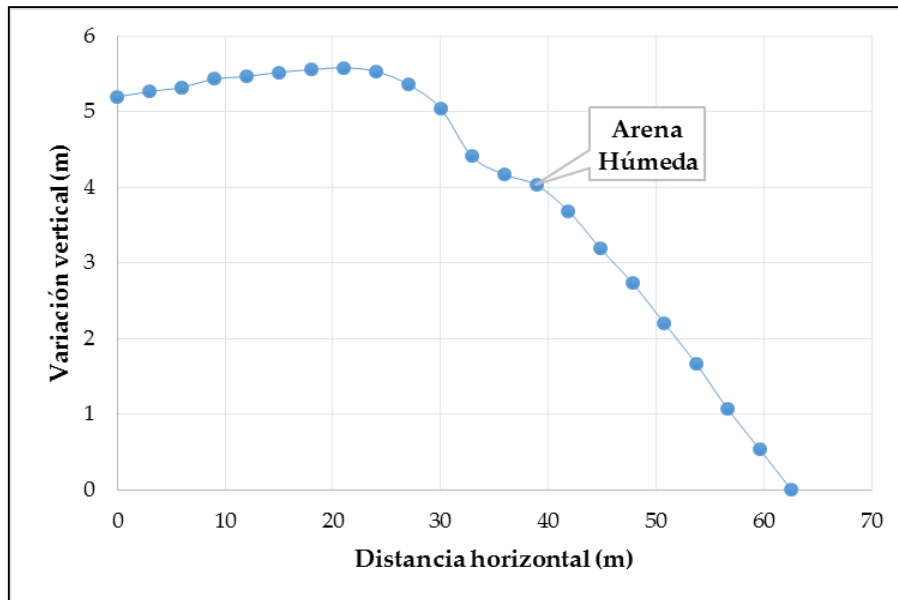
Fuente: Foto propia.

- **PLAYA EL SILENCIO**

Esta playa se ubica en el distrito de punta hermosa. Presenta una gran superficie arenosa, cerrada por un acantilado muerto pronunciado, que presenta ocasionales caídas de bloques. Tiene un ancho de 66 metros, una longitud de 832.20 m y 4.51° de pendiente. El espacio de playa se encuentra ocupado por

puestos de cevicherías. No hay presencia de urbanizaciones, solamente en la superficie del acantilado, limitadas por la autopista. Esta playa presenta un perfil de sedimentación con elevada pendiente.

Figura 16: Perfil de playa El Silencio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17: Acantilado muerto.



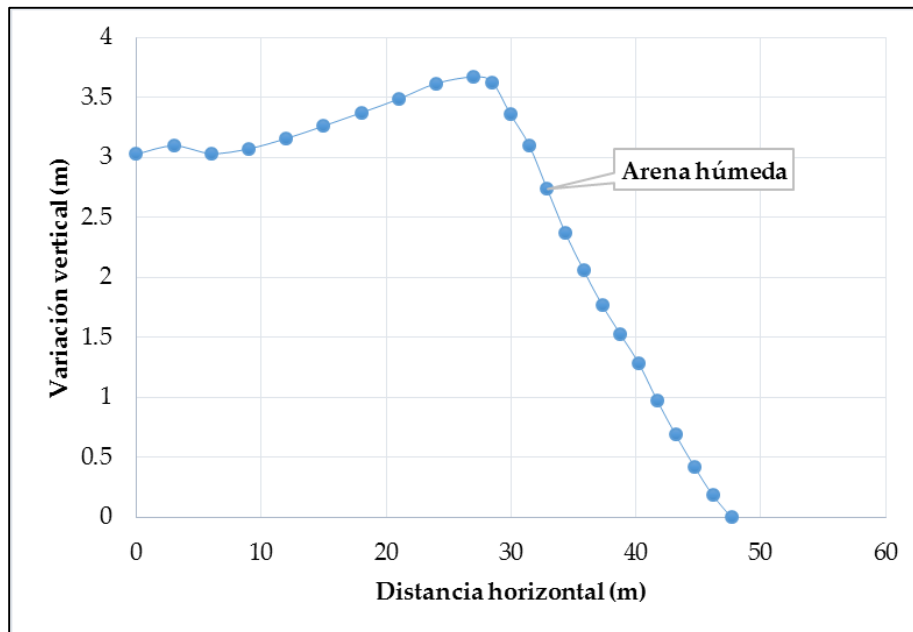
Fuente: Foto propia.

- **PLAYA CABALLEROS**

La playa Caballeros pertenece al distrito de Punta hermosa, es una zona residencial, de difícil acceso. Tiene un ancho de 48 metros, una longitud de 281.22

m y 3.62° de pendiente. Es una playa de arena de pequeña extensión que se encuentra cerrada por un acantilado muerto continuo. El espacio de playa está libre de edificaciones, sin embargo el acantilado sí presenta viviendas. Presenta un perfil con una elevada pendiente.

Figura 18: Perfil de playa Caballeros



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19: Zona residencial..

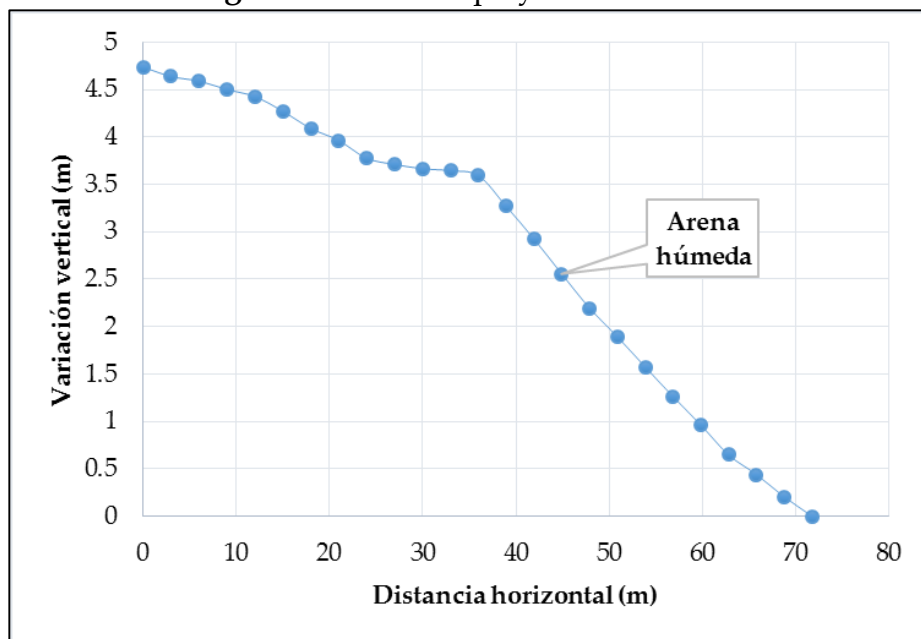


Fuente: Foto propia.

- **PLAYA PUNTA ROCAS**

Esta playa pertenece al distrito de Punta Negra, es una playa arenosa de larga extensión, con formación de cúspides de playa en la arena. Tiene un ancho variable de 72 a 140 metros, una longitud de 2070.02 m y 3.77° de pendiente. La intensidad de ocupación por las viviendas es baja y retirada de la línea de costa. Presenta un perfil estable, en donde las olas no presentan mucha fuerza erosiva.

Figura 20: Perfil de playa Punta Rocas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Viviendas alejadas de la línea de costa.

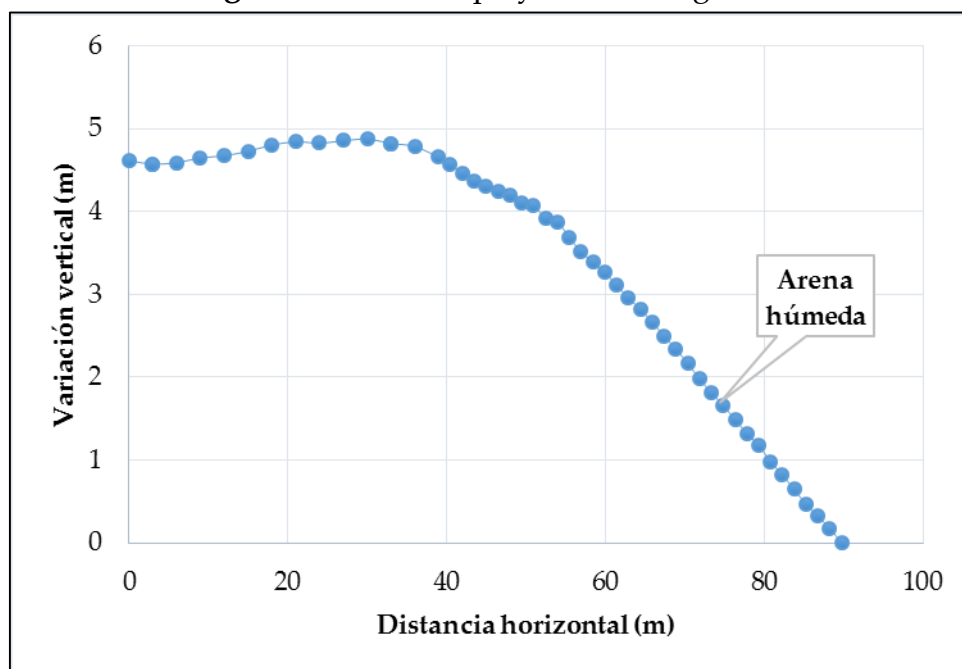


Fuente: Foto propia.

- **PLAYA PUNTA NEGRA**

Esta playa se encuentra en el distrito de Punta Negra, muy cerca de la playa punta rocas. Tiene un ancho variable de 135 a 108 metros, una longitud de 463 m y 2.76° de pendiente. Es de naturaleza arenosa, de extensión kilométrica y abierta. Tiene bastante espacio de berma. La urbanización se sitúa en la playa posterior.

Figura 22: Perfil de playa Punta Negra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23: Amplio espacio de berma.

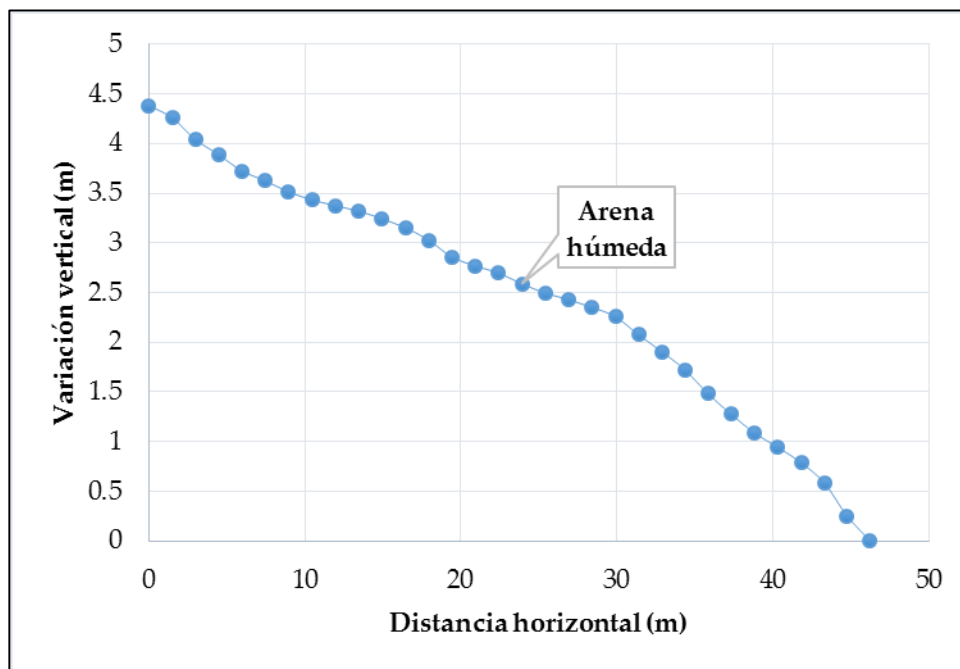


Fuente: Foto propia.

- **PLAYA "BIKINIS"**

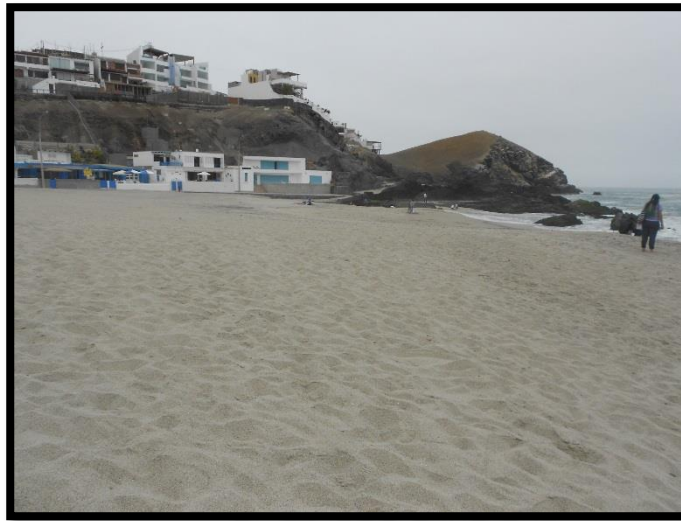
Esta playa de naturaleza arenosa, se encuentra limitada entre dos promontorios de gran envergadura, "Punta gigantón y Punta Chanque". Tiene un ancho variable de 30 a 46 metros, una longitud de 240 m y 5.40° de pendiente. Es una playa de pequeña extensión y en la playa posterior (Figura 25) hay un club y en general se encuentre altamente urbanizada.

Figura 24: Perfil de playa "Bikinis"



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25: Amplio espacio de berma.

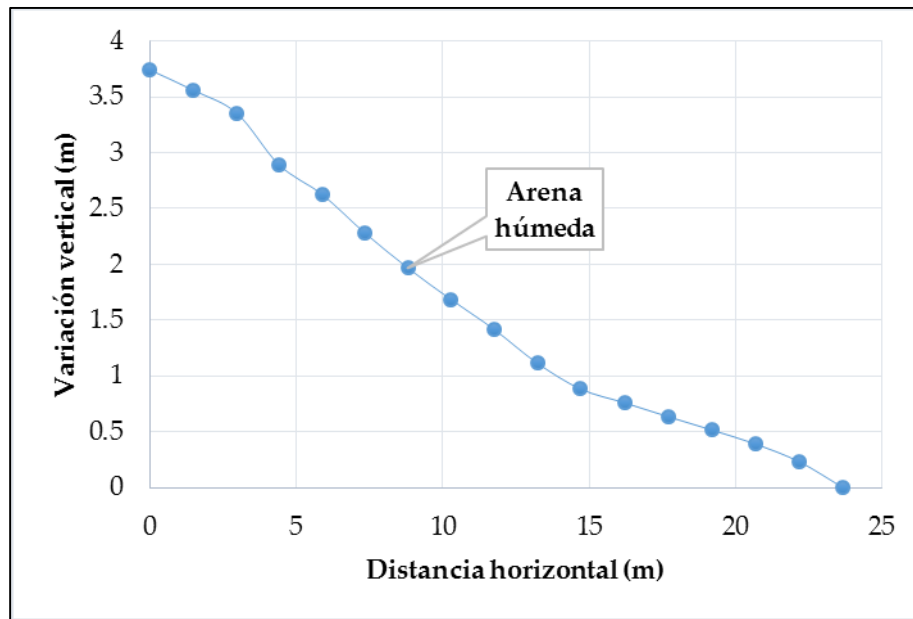


Fuente: foto propia.

- **PLAYA SAN BARTOLO**

Las playas de San Bartolo son de pequeña extensión, limitadas por pequeños promontorios. Tienen un ancho y longitud variable de 14 a 19 metros y 100 a 185 m respectivamente. Presentan una pendiente aproximada de 9° . Estas playas ocupan una franja muy estrecha, y están en su mayor parte urbanizada. Son playas de cantos y arenas que tienen muy poco espacio de berma. Algunas de éstas, sus olas rompen en el muro que las separa de la pista.

Figura 26: Perfil de playa San Bartolo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Poco espacio de berma.



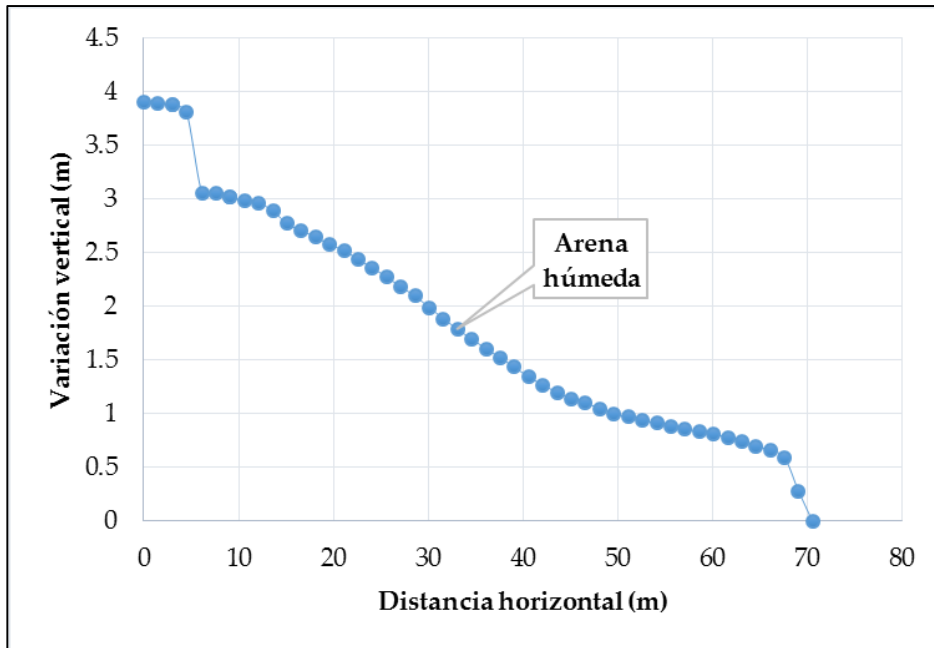
Fuente: foto propia.

- **PLAYA SANTA MARÍA**

Esta playa pertenece al distrito del mismo nombre Santa María, es una playa de arena. Tiene un ancho de 30 a 70 metros aproximadamente y 560 m de longitud. Presenta una pendiente de 3.83°. Está separada en dos playas (“Santa María grande” y “Santa María Chica”) por un dique artificial. Corresponde a una zona residencial con alta cantidad de viviendas.

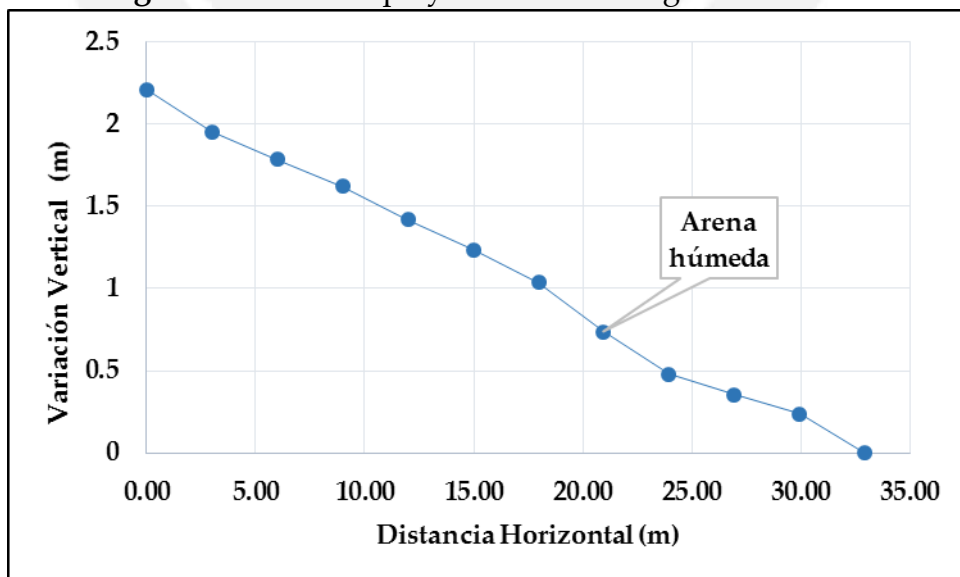
En el primer perfil (Figura 28) se puede observar que en los primeros diez metros de variación horizontal existe un escarpe de erosión (Figura 30), es decir una pendiente más pronunciada, que se formó, en este caso, por la acción erosiva de las olas y mide alrededor de un metro de alto. Este perfil es ligeramente erosivo, debido a la acción de las olas.

Figura 28: Perfil de playa "Santa María grande"



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Perfil de playa "Santa María grande"



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30: Escarpe de erosión.



Fuente: Foto propia

Figura 31: Santa María, playa chica.



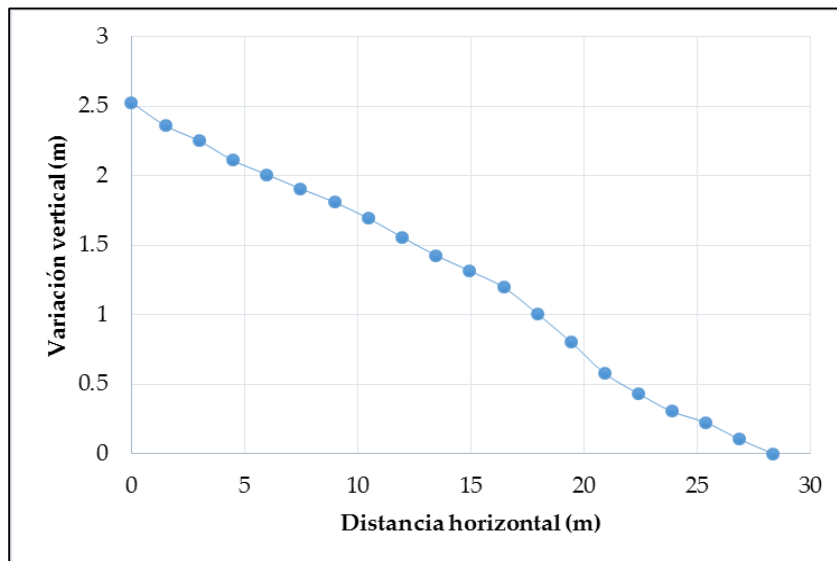
Fuente: Foto propia.

- **PLAYA EMBAJADORES**

La playa embajadores se encuentra en el distrito de Santa María. Tiene un ancho de 17 metros aproximadamente y 276.15 m de longitud. Presenta una pendiente de 5.08° . Es una playa de bahía, de dimensiones reducidas, limitada por un acantilado muerto donde se ubica una elevada presencia de viviendas. Esta playa

sirve como pequeño puerto para las embarcaciones de los residentes. Es una playa con poca presencia de olas y por lo tanto su acción erosiva es menor.

Figura 32: Perfil de playa “Embajadores”



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Poco espacio de berma.



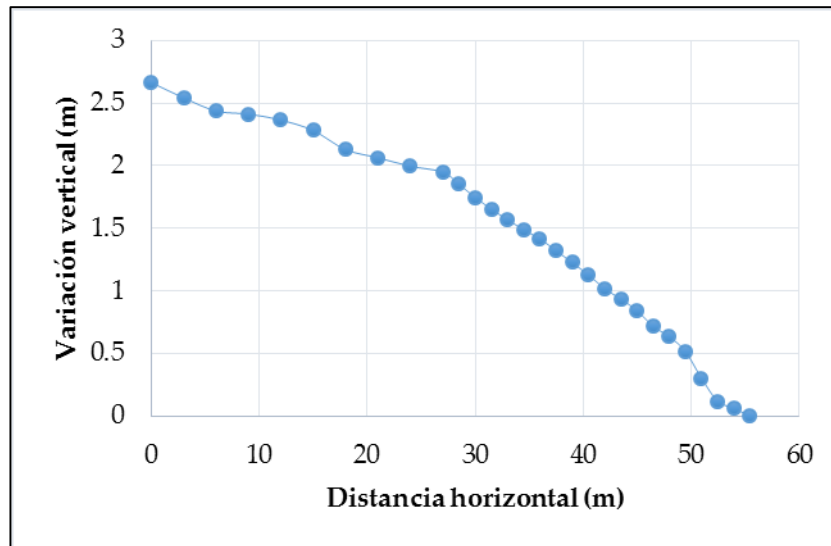
Fuente: Foto propia.

- **PLAYA NAPLO**

Esta playa pertenece al distrito de Pucusana, encontrándose al sur del mismo. Tiene un ancho variable de 24 a 36 metros aproximadamente y 479.22 m de longitud. Presenta una pendiente de 2.75° . Es una playa de arena con una extensión considerable y abierta. Contiene un amplio espacio de berma y no hay

presencia de olas, es decir no hay dinámica erosiva, es por eso que presenta un perfil estable de deposición. Alejado de la línea de costera detrás de un muro se encuentran las viviendas y se encuentra parcialmente urbanizada.

Figura 34: Perfil de playa Naplo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 35: Poca presencia de olas.



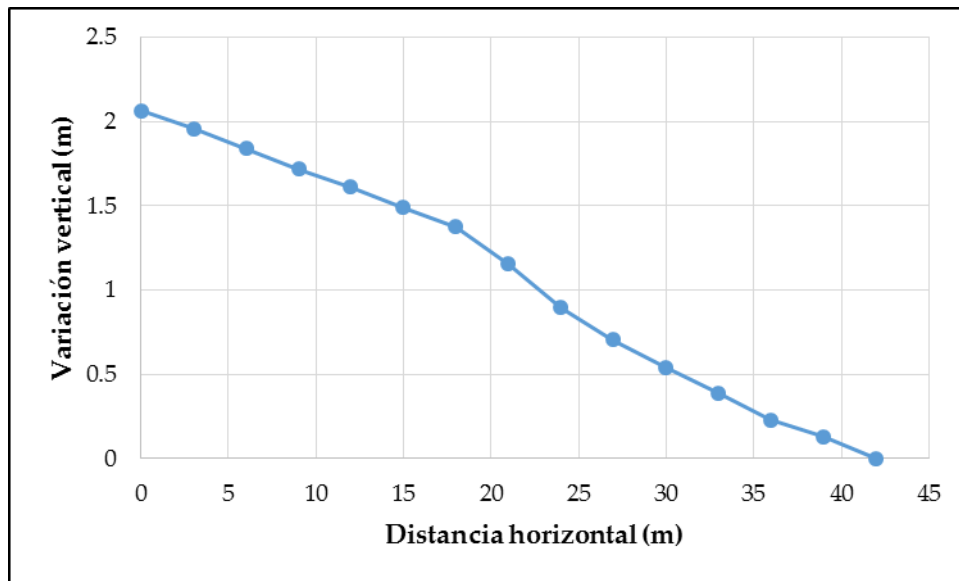
Fuente: Foto propia.

- **PLAYA PUCUSANA**

Este perfil corresponde al último medido en la zona de estudio. Es una playa donde se desarrolla la actividad pesquera. Presenta un ancho variable de 21 a 46

metros aproximadamente y 139.68 m de longitud. Presenta una pendiente de 2.81° . Presenta alta cantidad de botes en la arena y alta densidad de restaurantes marinos alrededor de la playa. Esta playa es arena, de poca extensión y no posee olas. Además se trata de un balneario con alta densidad de viviendas alrededor.

Figura 36: Perfil de playa Pucusana



Fuente: Elaboración propia.

Figura 37: Balneario de pescadores.



Fuente: fotos propias.

4.1.3. VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

En este subcapítulo se indican los principales resultados y partes del proceso del cálculo de la variable variación de la línea de costa y en la Tabla 12, se detallan los resultados identificados en cada unidad de análisis.

Esta variable se determinó comparando la línea de costera durante un periodo de 53 años que corresponden a las fotos aéreas de 1961 (2 de noviembre) y una imagen del año 2014 (6 de octubre) obtenida en Google Earth. Luego, al analizar estos datos en el programa Arcmap se puede conocer la variación de la línea de costa. En la Figura 38 se puede observar las dos líneas digitalizadas, la línea base y los transectos. Esto último sirvió como base para obtener los datos estadísticos que se observan en la Tabla 12.

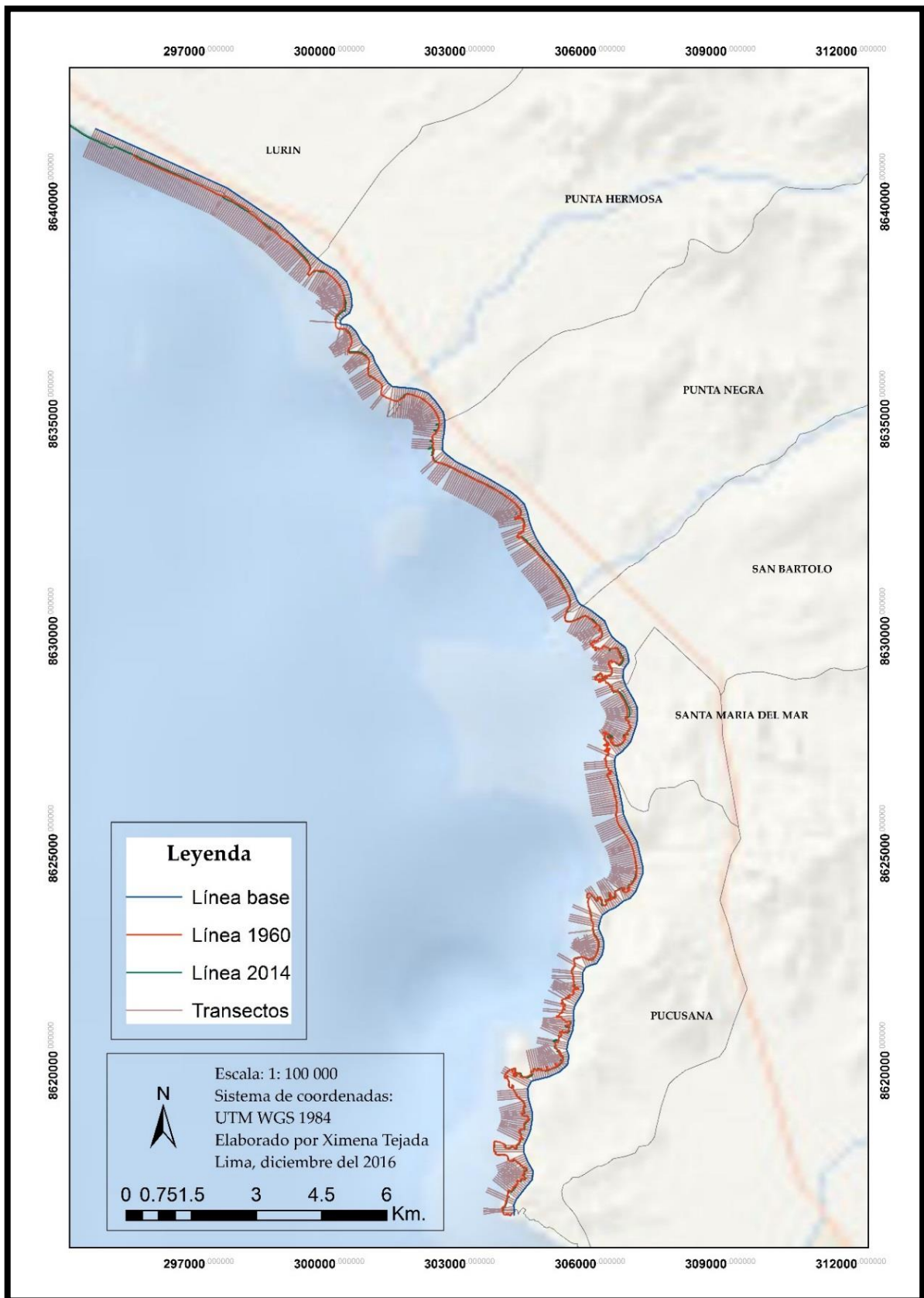
El parámetro más importante analizado fue el de la Tasa de cambio final o *End Point Rate* (EPR). Éste se calcula dividiendo el Movimiento neto de la línea de costa o NSM (*Net Shoreline Movement*), que indica la variación entre la línea más antigua y la más moderna; y el tiempo transcurrido entre las dos líneas costeras. El resultado indica la tasa de variación de las líneas por cada transecto. Asimismo se calculó la tasa de margen de error por cada unidad de análisis. El margen de error es un índice relacionado con el movimiento horizontal de la marea y se obtiene a partir de los perfiles de playa realizados en el sector de estudio. Este margen es importante porque una variación de las líneas de costa dentro del margen de error, implica que puede ser resultado de una variación natural de la marea.

En la Figura 39 se puede observar que existen más unidades de análisis con tendencia al retroceso de la línea de costa (a la erosión) y poca evidencia de avance en dirección al mar (sedimentación o deposición de sedimentos). Esto último se observa claramente en el sector de Lurín, y por el contrario, en los sectores de Pulpos, Silencio y San Bartolo, principalmente se observa un proceso

de erosión en la costa. Los sectores de Quebrada, Revés y Embajadores se encuentran en un proceso de estabilidad costera, con la tasa de cambio final (EPR) muy cercana a cero (Tabla 12).

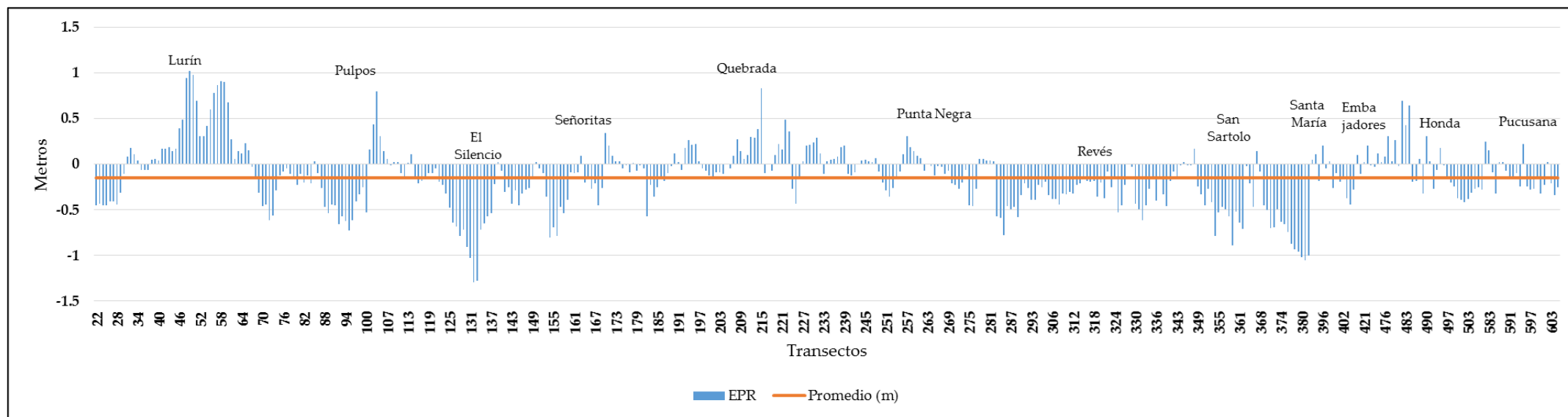


Figura 38: Variación de línea de costa en el sector de estudio



Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Tasa de cambio final (EPR) entre 1961 y 2014 para el área de estudio por sectores



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12: Resultados del análisis de variación de línea costera por cada sector de estudio.

Promedio/ sectores	Lurín	Pulpos	El Silencio	Señoritas	Quebrada	Punta negra	Revés	San Bartolo	Santa María	Embajadores	Honda	Pucusana
EPR	0.092	-0.180	-0.461	-0.178	0.060	-0.180	0.156	-0.462	-0.111	0.053	-0.071	-0.231
NSM	4.892	-9.620	-24.541	-9.443	3.168	-9.612	-16.902	-24.633	-5.928	2.868	-3.760	-12.368
Margen de error	0.432	0.207	0.173	0.216	0.163	0.246	0.144	0.087	0.231	0.154	0.374	0.278

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. USOS DE SUELO

En este subcapítulo se identifican los principales usos del suelo que se desarrollan cerca del litoral correspondiente a la zona de estudio. En la Figura 41 se detalla una vista general de la distribución del uso del suelo en la zona de estudio. En la Tabla 13 se detalla los tipos de uso de suelo por cada unidad de análisis y en aquellos sectores donde se menciona “alta” o “baja” densidad hacen referencia a la densidad poblacional (variable de estudio).

Se han identificado tres tipos de uso de suelo principales: el residencial, comercial y recreacional. De éstos, el uso más extendido es el residencial (Figura 40 a), ya que una gran parte de las viviendas se concentran desde la carretera panamericana hacia la costa. Hay un equilibrio entre la residencia principal y la secundaria (excepto en Lurín y Pucusana donde predomina la principal). Muchas casas se encuentran consolidadas y asentadas muy cerca del litoral, sobre terrazas marinas y puntas rocosas.

Por otro lado, el uso comercial y hostelero (Figura 40 b) está principalmente dirigido al turismo y funciona de manera más activa en época de verano (enero a marzo aproximadamente). La infraestructura dedicada al comercio, es decir, las instalaciones de los restaurantes (principalmente) se encuentra sobre las mismas playas o en las proximidades. En el caso del sector de Pucusana, que figura en la Tabla 12 como uso de suelo residencial y comercial, se caracteriza por ser una zona donde se realiza la actividad pesquera y donde la mayor parte de los restaurantes y residencias se encuentran muy cercanas al mar. Asimismo, hay presencia de comercio ambulatorio alrededor de la playa.

En tercer lugar, el uso recreacional del suelo (Figura 40 c) está conformado por diversos centros de esparcimiento, clubes, entre otros. Éstos brindan servicios privados y tienen mayor acogida en época de verano por el turismo. La mayor parte están asentados cerca de la playa o en sus proximidades. Muchas de las playas que

son parte de algún club son de difícil acceso. En las unidades de análisis, se observa que cinco sectores corresponden a un uso de suelo “recreacional” (Tabla 13).

Cabe destacar, que en el distrito de Lurín, al norte, en la playa San Pedro, se puede apreciar que se realiza actividad agrícola (Tabla 13). Sin embargo, la mayor parte del distrito no tiene un uso definido del suelo cerca del litoral, y tampoco se aprecian construcciones. Es por esto que se ha catalogado como “Otros usos” a aquellas zonas cerca del litoral que no presenten un uso definido y específico y tampoco se observa infraestructura o la realización de alguna actividad en específico.

Figura 40: Imágenes de uso del suelo. a) uso residencial, b) uso comercial, c) uso recreacional.



Uso residencial. "Playa Pulpos"



Uso comercial. "Playa San Pedro"



Uso recreacional. "Playa Bikinis"

Fuente: Fotos propias.

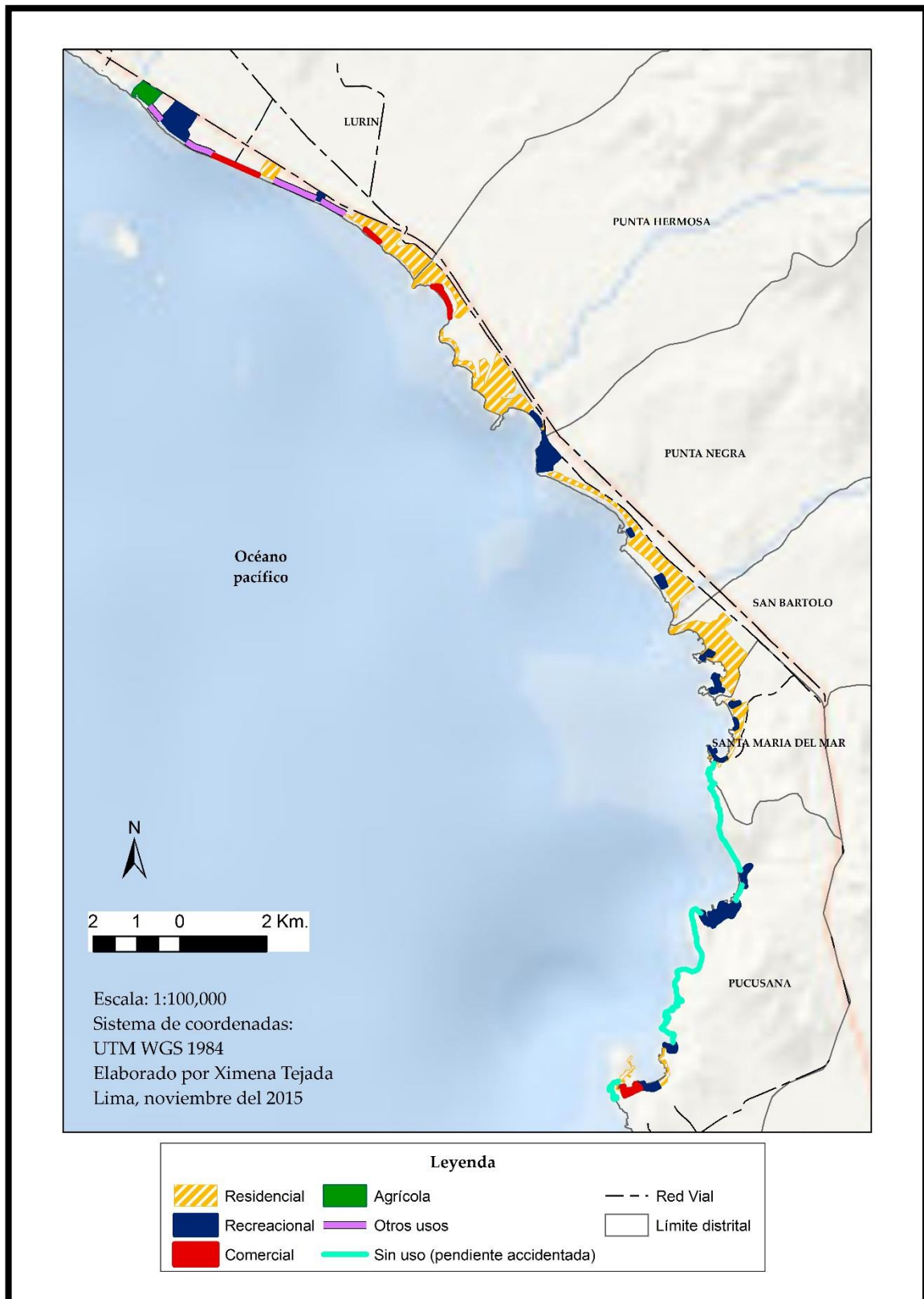
Por último, al sur de la zona de estudio, iniciando el distrito de Santa María del Mar, el relieve del territorio presenta superficies accidentadas como puntas y costas rocosas de pendiente elevada (unidad de análisis “Roca”). Esta disposición del relieve dificulta en algunas zonas la continuidad del poblamiento por ello, de manera general, en la Figura 39, este sector ha sido catalogado como “sin uso”. No obstante, existen sectores de las puntas rocosas en donde se presenta una alta cantidad de residencias construidas. Ésta se encuentra espaciada y no es uniforme en todo el estrato.

Tabla 13: Principales usos de suelo según sector de estudio.

Sectores	Uso de suelo
Lurín	Uso agrícola y comercial disperso
Pulpos	Residencial y comercial
Silencio	Comercial disperso
Señoritas	Residencial (alta densidad)
Quebrada	Recreacional y residencial
Punta negra	Residencial, comercial y recreacional
Revés	Residencial (baja densidad)
San Bartolo	Residencial, recreacional y comercio
Santa María	Residencial y recreacional
Embajadores	Residencial y comercial
Honda	Residencial y recreacional
Pucusana	Residencial y comercial
Roca	Residencial disperso

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Tipos de uso de suelo



Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. DENSIDAD POBLACIONAL

En este subcapítulo se indican los principales resultados y parte del proceso del cálculo de la variable densidad poblacional. En la Tabla 14, se detallan los resultados correspondientes a cada unidad de análisis.

La zona de estudio presenta una alta densidad poblacional y soporta en varios sectores diversas actividades económicas. Además, en época de verano se convierte en una zona que recibe gran cantidad de turistas y bañistas.

Tabla 14: Resultados de densidad poblacional por sectores

Sectores	Población a nivel de manzanas	Área (km ²)	Densidad(#Población/km ²)
Lurín	219	1.276	171.502
Pulpos	2698	0.635	4248.598
Silencio	290	0.311	931.828
Señoritas	1150	0.407	2820.673
Quebrada	1350	0.902	1496.123
Punta negra	1204	0.754	1595.439
Revés	415	0.527	787.058
San Bartolo	3140	0.765	4101.996
Santa María	897	0.190	4718.991
Embajadores	261	0.164	1588.431
Honda	514	0.3192	1610.068
Pucusana	2143	0.496	4318.796
Roca	1465	3.101	373.62

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 y en Figura 43 se observan los resultados de la densidad poblacional por cada sector de estudio, considerando a la población por manzanas y el área de cada sector. Los sectores que presentan una alta densidad poblacional son el de Pulpos, San Bartolo, Santa María y Pucusana (Figura 42 b). A pesar de que el sector de Santa María sea un balneario de muy poca población, la mayor parte de ésta se asienta en los primeros 250 metros de la playa y ocupa poca área. Es por ello que la

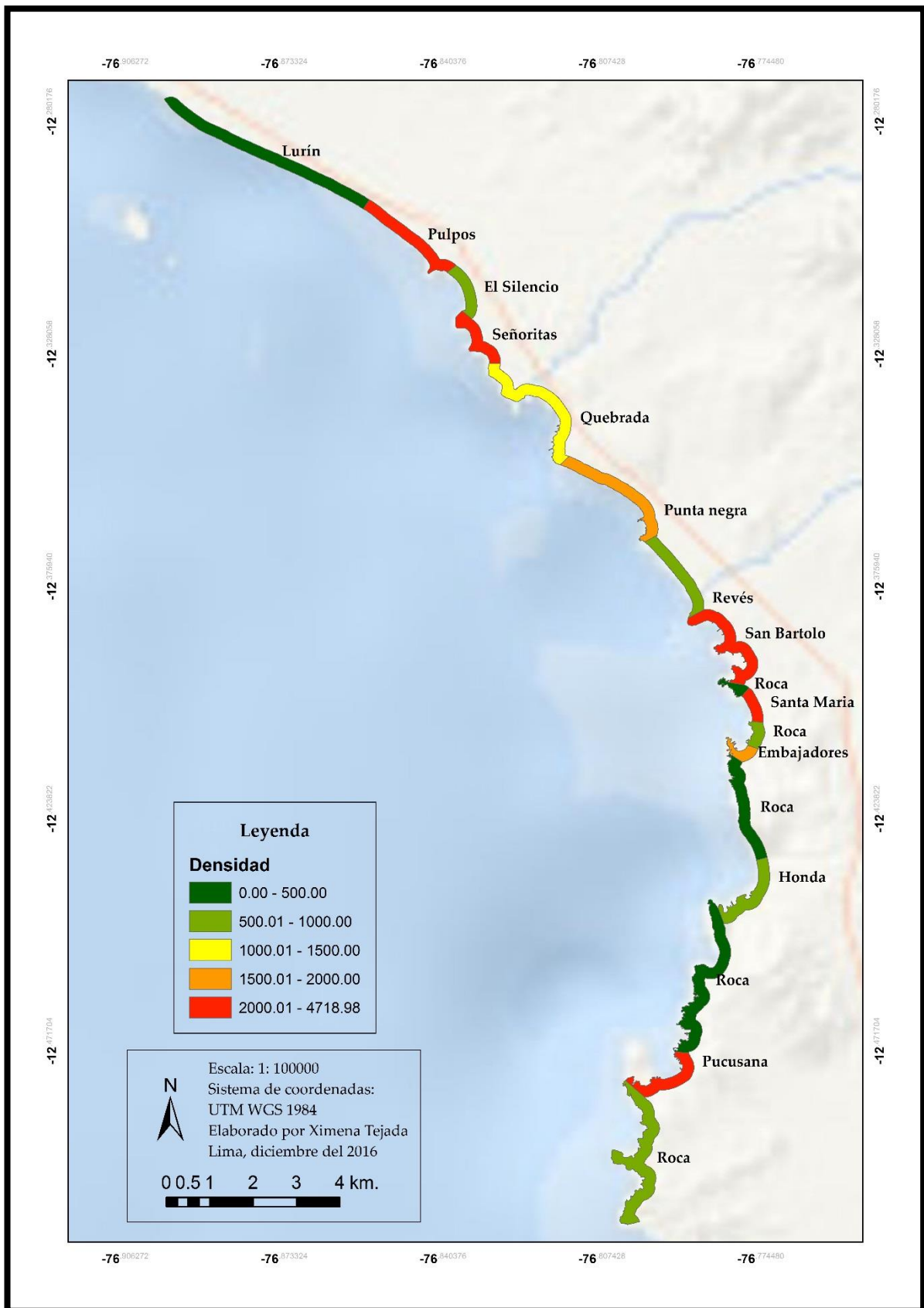
densidad resulta ser muy alta. Por otro lado, los sectores con menor densidad son el de Lurín y Revés. El primero de éstos es un amplio sector con muy poca población, pues la mayor parte son parcelas de cultivo y existen puestos de venta que funcionan más en verano. Por último, se observa población asentada sobre puntas rocosas (sector “Roca”), que presenta muy poca densidad por tratarse de un sector que se encuentra a lo largo de toda la zona de estudio, ocupando una gran área (Figura 42 a).

Figura 42: Imágenes de los sectores poblados de algunas de las playas. a) corresponde a Roca, b) corresponde a San Bartolo..



Fuente: fotos propias.

Figura 43: Densidad poblacional por sectores.



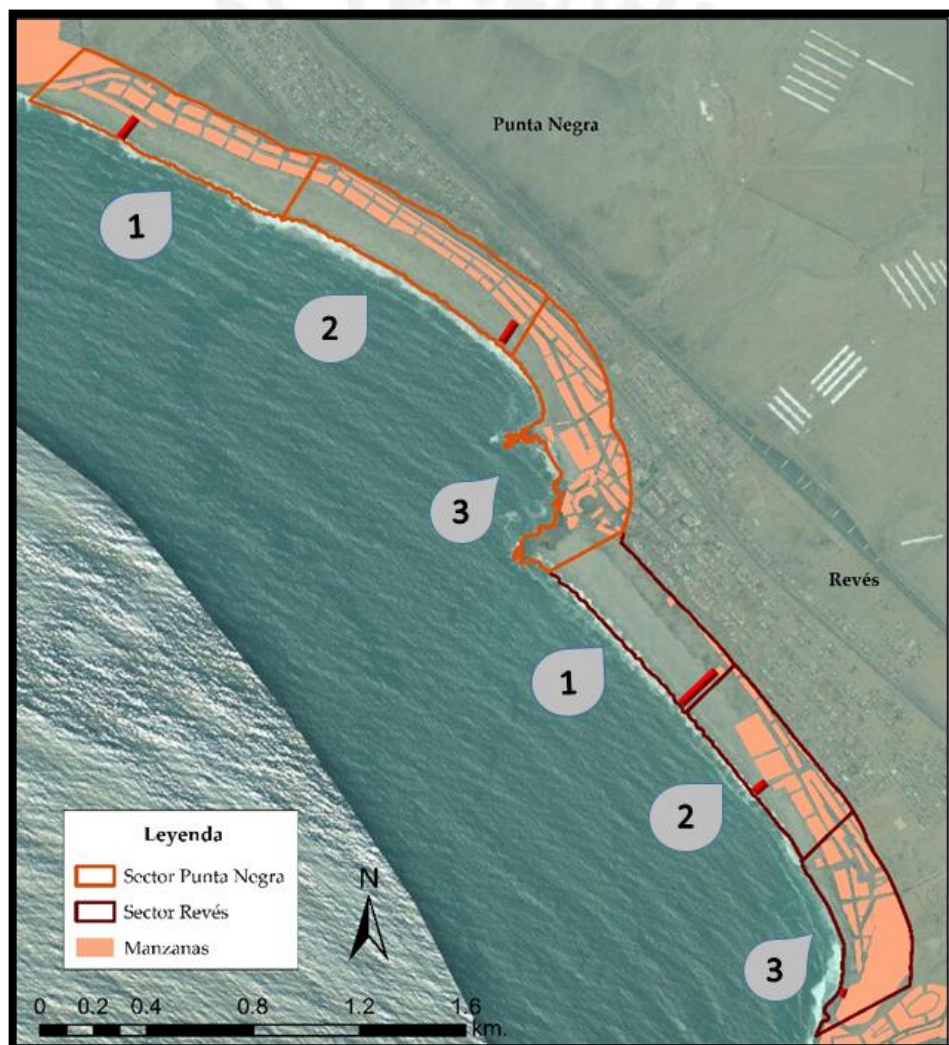
Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. DISTANCIA A LA INFRAESTRUCTURA

En este subcapítulo se indican los principales resultados y parte del proceso del cálculo de la variable distancia a la infraestructura. En la Tabla 15, se detallan los resultados identificados en cada unidad de análisis.

Para hallar la distancia se tomaron valores ponderados de acuerdo al área que ocupa la infraestructura en cada sector. Se midió la distancia a la infraestructura más cercana para darle más importancia a la primera estructura que podría verse afectada por su cercanía al mar.

Figura 44: Ejemplo de separación en tramos y cálculo de distancia



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 44 se colocó como ejemplo las manzanas de cada sector para una mejor observación. Sin embargo, el cálculo final fue hecho utilizando Google Earth y observando la infraestructura construida en cada sector. En las Figuras 45 a y b se puede observar la proximidad al mar de algunas casas asentadas en la playa.

En la tabla 15 se detallan todos los resultados de área y distancia por tramos de división de cada uno de los sectores de estudio. Se puede observar que la distancia final más cercana corresponde a los sectores de Señoritas, San Bartolo y Embajadores, con menos de 20 metros de distancia hacia el mar. Los de mayor distancia son los sectores de Lurín, Punta Negra y Santa María con más de 60 metros de distancia final. No se tomó en cuenta el sector de puntas rocosas pues a pesar de tener infraestructura construida sobre éste, ésta se encuentra en altura sobre estrato consolidado.

En líneas generales se observa que en el área de estudio las distancias se caracterizan por ser muy próximas al mar, dejando poco espacio de berma para los bañistas y teniendo algún impacto o influencia, al mismo tiempo, sobre las dinámicas costeras.

Figura 45: Casas construidas próximas al mar. a) playa San Bartolo, b) playa Blanca.



Fuente: fotos propias.

Tabla 15: Resultados finales del cálculo de la distancia más próxima por sector.

Sectores	Área (m ²) total de infraestructura (AT)	Área de infraestructura (m ²) y distancia (m) más próxima por cada tramo						Resultado (m)/Fórmula
		A1	D1	A2	D2	A3	D3	$(A1/AT)*D1 + (A2/AT)*D2 + (A3/AT)*D3$
Lurín	219693.756	98344.679	66.583	101622.915	64.934	19726.163	121.448	70.746
Pulpos	274085.395	41241.661	116.537	110397.741	38.108	122445.994	23.580	43.419
Silencio	36204.857	15694.373	47.625	10240.951	26.648	10269.532	19.667	33.761
Señoritas	51763.725	17343.385	18.331	16176.080	20.181	18244.261	16.234	18.170
Quebrada	355884.632	137838.629	22.913	114210.317	24.494	103835.686	29.504	25.343
Punta negra	157411.460	40655.327	64.870	43023.688	107.905	73732.445	48.217	68.832
Revés	60123.796	2420.741	213.590	27210.206	74.723	30492.849	28.307	56.773
San Bartolo	268029.982	74372.242	20.213	96326.919	12.636	97330.821	5.916	12.299
Santa María	38661.364	7435.147	80.569	13757.478	56.859	17468.739	74.803	69.527
Embajadores	16500.645	4668.901	25.375	8569.082	21.540	3262.662	8.006	19.949
Honda	51315.001	7922.051	34.805	18828.863	25.686	24564.086	42.194	34.996
Pucusana	150935.880	37906.812	16.847	41514.455	43.758	71514.613	37.809	34.181

Fuente: Elaboración propia.

4.2. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA

A partir de la caracterización y resultados hallados para cada una de las seis variables en las trece unidades de análisis del área de estudio, se procedió a calcular la vulnerabilidad a partir de la fórmula de Gornitz et al. (1991). Primero, se realizó la clasificación entre los valores de 1 a 5 de cada unidad (Tabla 16) en base a los indicadores propuestos en metodología, donde el valor de “1” representa menor afección y el valor de “5” representa mayor riesgo. En segundo lugar, se aplicó la fórmula del IVC en cada uno de los trece sectores tal como se observa en la Tabla 16 (columna IVC), los resultados.

Los valores calculados se hallan entre 0.816 y 36.514. Los percentiles 25, 50 y 75 son 11.067, 15.491, 26.193, respectivamente. Los resultados se dividieron en las siguientes cuatro categorías: baja, moderada, alta y muy alta vulnerabilidad, basados en la amplitud de los cuartiles. Es decir, valores que estuviesen debajo de 11.067 se les asignó una categoría de baja vulnerabilidad, tal como se observa en la Tabla 17 y la Figura 46.

El IVC nos indica que el sector Lurín, Quebrada y el sector Roca tienen baja vulnerabilidad, mientras que los sectores de Santa María y Honda presentan vulnerabilidad media. Los sectores de Pulpos, El Silencio, Punta Negra, Revés, San Bartolo, y los sectores de Señoritas, Embajadores y Pucusana presentan una vulnerabilidad alta y muy alta, respectivamente.

En la Figura 47 se observa la vulnerabilidad relativa a cada una de las seis variables de estudio. Con respecto a las variables humanas, la mayor parte de sectores resultaron altamente vulnerables. Si observamos los resultados con la variable uso de suelo, la mayoría corresponden a zonas con uso residencial, recreacional y comercial del suelo que los hace muy vulnerables. Solo el sector Lurín presenta baja vulnerabilidad por tener un uso agrícola del suelo junto con otros usos no definidos y no prioritarios.

Asimismo, esta alta cantidad de residencias se encuentran densamente pobladas y es por eso que la variable densidad poblacional resultó con muchos sectores de “muy alta” y “alta” vulnerabilidad. El sector que presentó la mayor cantidad de población es el de San Bartolo con 3140 personas y con una densidad de 4101.996 habitantes por km². No obstante el sector con más alta densidad fue el de Santa María, por ser un sector de playa pequeño de 897 personas pero con 4718.991 habitantes por km². Los sectores con muy baja y baja densidad poblacional fueron el de Lurín (el sector con la menor cantidad de población), El Silencio y Revés, y por último, el sector Quebrada presentó moderada densidad con 1496.123 habitantes por km².

La infraestructura construida, ya sean residencias, comercios, o clubes de recreación, en la mayoría de sectores se encuentra ubicada a pocos metros de la línea de costa. Es por eso que la variable distancia a la infraestructura tuvo sectores con “alta” y “muy alta” vulnerabilidad. El sector de Señoritas, San Bartolo y el de Embajadores resultaron ser muy vulnerables, con distancias de 18, 12 y 19 metros, respectivamente. Los únicos sectores que presentaron distancias más grandes fueron el de Lurín, Punta negra y Santa María, con 70, 68 y 69 metros respectivamente.

Con respecto a las variables físicas, los sectores de estudio resultaron tener moderada y alta vulnerabilidad. Pocos fueron los que resultaron tener muy alta vulnerabilidad. Con respecto a la variable geomorfología, los sectores presentan moderada y alta vulnerabilidad. Los primeros corresponden a los sectores de El Silencio, Señoritas, Quebrada, San Bartolo, Santa María y Honda que a pesar de la mayoría estar conformados por playas de arena, presentan terrazas marinas escalonadas bien diferenciadas de mediana y alta altura que los hace menos vulnerables. A comparación de los sectores que presentan alta vulnerabilidad que corresponden a zonas que tienen playas de arena y presentan llanuras marino-aluviales en muchos casos con terrazas de muy poca altura sobre sedimentos

sedimentarios no consolidados. Estos últimos corresponden a los sectores de Lurín, Pulpos, Punta Negra, Revés y Pucusana.

Por otro lado, la variable de variación de línea de costa resultó con tipos de vulnerabilidad más diferenciados. Cuatro sectores: El Silencio, Revés, San Bartolo y Embajadores presentan muy alta vulnerabilidad con tasas de variación mayores a -0.25 m/año. Mientras que el sector de Pucusana presenta alta vulnerabilidad con una tasa de variación de -0.23 m/año. Los sectores que presentan moderada vulnerabilidad son Pulpos, Señoritas, Punta Negra, con tasas de variación entre -0.20 y -0.15 m/año. Los sectores con la línea de costa más estable, menos vulnerables con tasas de variación muy bajas fueron el sector Quebrada con 0.05 m/año, Lurín con 0.09 m/año, Honda con -0.07 m/año y Santa María con -0.11 m/año.

Solo la variable pendiente presentó más sectores con “alta” vulnerabilidad entre 0° a 5° . Los sectores con menor pendiente y “muy alta” vulnerabilidad fueron el de Lurín con 1.8° y el de Pucusana con 2.8° . Los demás sectores presentaron moderada, baja y muy baja vulnerabilidad que corresponden a pendientes entre 5° y 9° . El sector de San Bartolo presentó una pendiente de 8.9° , poco vulnerable. No obstante, el sector roca que corresponden a las puntas rocosas de la zona de estudio fue al único que se le asignó la categoría de “muy baja” vulnerabilidad por ser un sector de acantilados rocosos.

Tabla 16: Resultados obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera para cada sector de estudio.

Sectores	Uso de suelo	Geomorfología	Pendiente	Densidad	Distancia	Variación costera	IVC	Clasificación
Lurín	2	4	5	1	2	1	3.651	BAJO
Pulpos	5	4	4	5	3	3	24.495	ALTO
Silencio	3	3	4	2	4	5	15.492	ALTO
Señoritas	5	3	4	5	5	3	27.386	MUY ALTO
Quebrada	5	3	3	3	4	1	9.487	BAJO
Punta negra	5	4	4	4	2	3	17.889	ALTO
Revés	4	4	3	2	3	5	15.492	ALTO
San Bartolo	5	3	2	5	5	5	25.000	ALTO
Santa María	5	3	4	5	2	2	14.142	MODERADO
Embajadores	5	3	3	4	5	5	27.386	MUY ALTO
Honda	5	3	4	4	4	1	12.649	MODERADO
Pucusana	5	4	5	5	4	4	36.515	MUY ALTO
Roca	4	1	1	1	1	1	0.816	BAJO

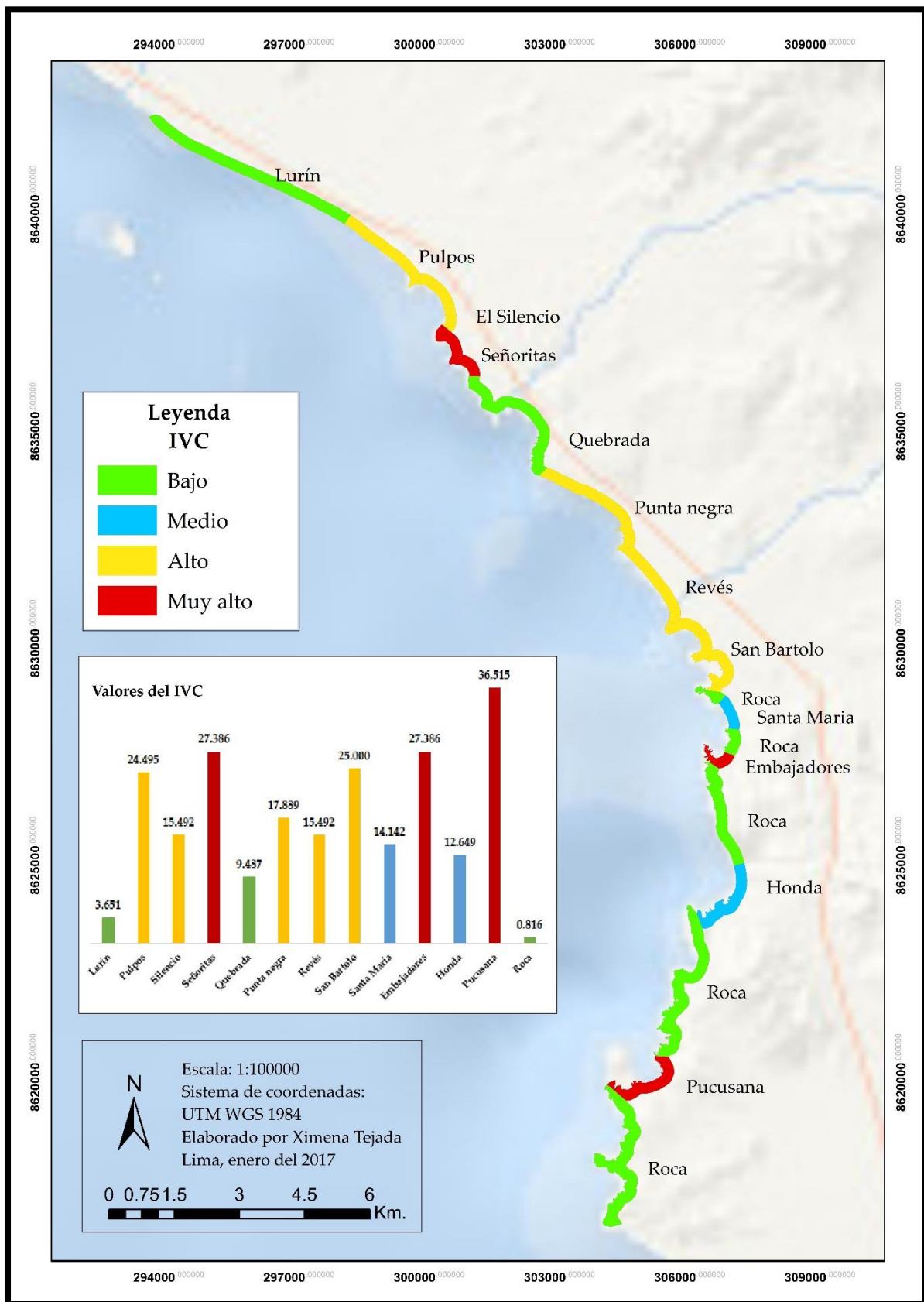
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Categorías del IVC en base a los resultados divididos en cuartiles

Bajo	Moderada	Alta	Muy alta
<11.067	11.067 - 15.490	15.490- 26.193	>26.193

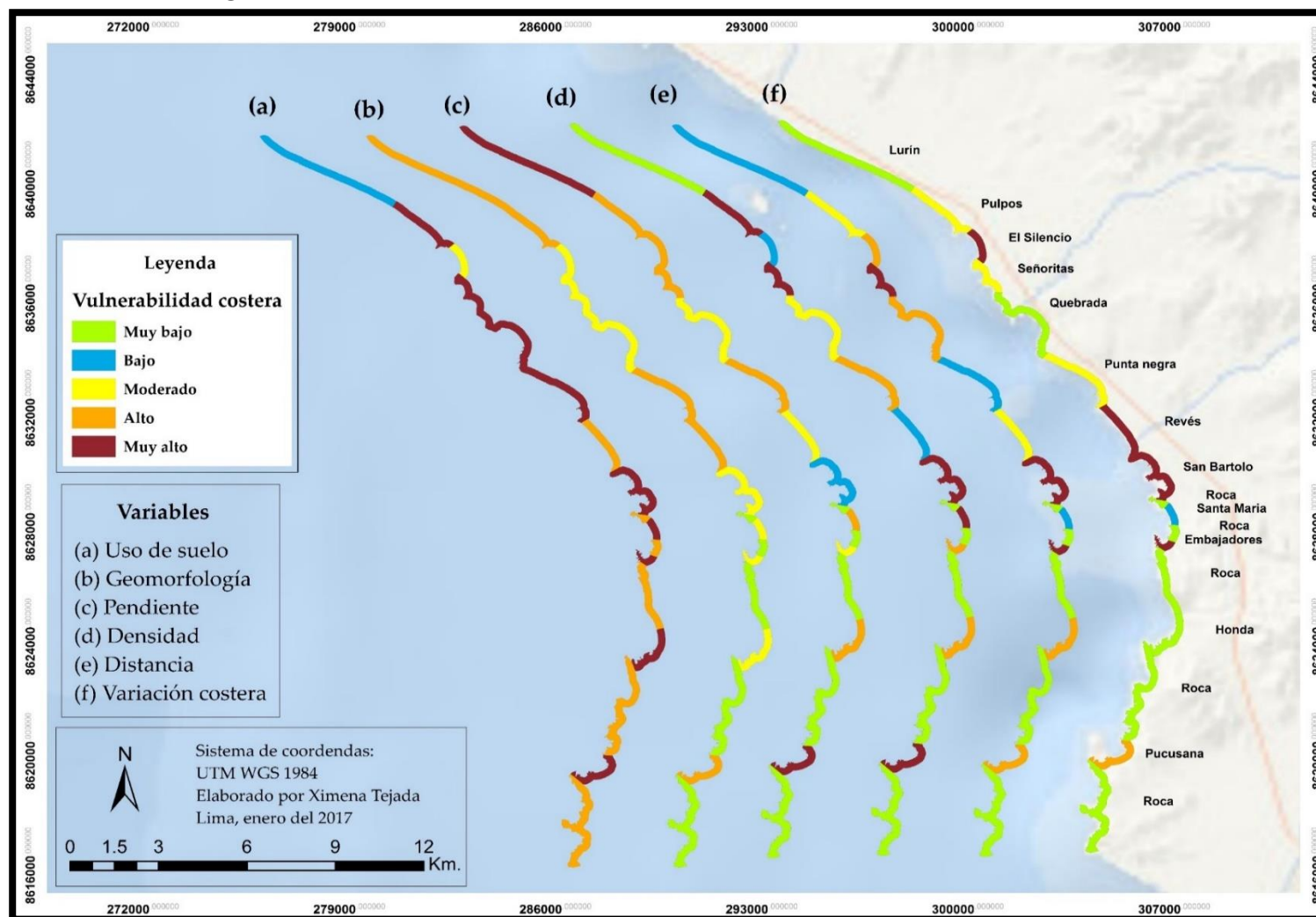
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Vulnerabilidad de los sectores de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Vulnerabilidad relativa a cada una de las seis variables de estudio



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Esta investigación tuvo como propósito identificar los lugares vulnerables del sector costero de estudio ante un posible incremento del nivel del mar que podría acelerar los procesos de erosión costera, poner en riesgo la infraestructura y las actividades que se realizan en la zona. Esto último se consiguió mediante la aplicación del IVC que, como menciona Martí, M. (2011), es un método que permite conocer la vulnerabilidad relativa de la zona costera al efecto integrado de múltiples agentes y el valor final de este índice se obtiene mediante la graduación, y posterior combinación, de un conjunto de variables representativas de los diversos procesos considerados.

Los resultados del índice permiten conocer cuáles son los lugares más vulnerables en la zona de estudio, de esta manera, a partir de los datos obtenidos, de los 13 sectores, los catalogados con “Alta” vulnerabilidad fueron los de Pulpos, El Silencio, Punta Negra, Revés y San Bartolo; y “Muy alta” vulnerabilidad fueron el de Señoritas, Embajadores y Pucusana. Por otro lado, los sectores con menor puntaje fueron los de Santa María y Honda que obtuvieron “Moderada” vulnerabilidad, y los de Lurín, Quebrada y Roca, obtuvieron “Baja” vulnerabilidad. Más del 50% de los sectores (8 en total) resultaron más vulnerables a verse afectados ante cualquier cambio en el clima o potencial subida del nivel del mar. Cada sector obtuvo diferentes puntajes dependiendo de cada una de las variables físicas o humanas

Al comienzo de la investigación se planteó como pregunta de investigación identificar las principales variables físicas y humanas. De esta forma, se realizó una elección de seis variables representativas de la zona de estudio. Todas éstas fueron elegidas teniendo en cuenta una caracterización completa realizada en cada una de las trece unidades de análisis de la zona de estudio. De esta manera, tres de estas variables hacen referencia a características físicas, como la geomorfología, pendiente y variación de línea costera; y los otros tres a características socioeconómicas, como la densidad poblacional, tipo de uso de suelo y distancia la infraestructura. Las seis

variables fueron aplicadas a cada uno de las trece unidades de análisis, en los primeros 250 primeros metros de la zona costera, y todas tuvieron el mismo peso en el índice. Se combinó la utilización tanto de variables físicos como socioeconómicos para otorgarle importancia a los dos, y particularmente, en este sector de estudio, porque es un área que presenta diferentes características físicas y al mismo tiempo se caracteriza por estar altamente urbanizada en muchos sectores. Entre los autores que utilizan variables socioeconómicos junto con físicos al aplicar el IVC se puede mencionar Lynch, M. (2015), Ros (2014), McLaughlin, S., McKenna, J. & Cooper, J.A.G. (2002), entre otros.

Con respecto a las variables socioeconómicas, la variable “tipos de uso de suelo” se escogió porque el área costera corresponde a un sector en donde se realizan diversas actividades económicas. Algunos autores tales como Sarajit et al. (2015) y Rangel & Posada (2013) han obtenido buenos resultados con estas variables. Éstos consideran que las zonas comerciales, con alto tejido urbano e industriales presentan un alto grado de vulnerabilidad. A diferencia de las zonas baldías, de bosques, asentamientos dispersos y de cultivos. Según los resultados, el 70% de los sectores obtuvieron el mayor puntaje en esta variable, clasificados con “muy alta” vulnerabilidad. Solo el sector de Lurín presentó baja vulnerabilidad, pues se trata de una zona con infraestructura no prioritaria muy dispersa. Los sectores restantes presentan un alto grado de urbanización. Ya no solo son residencias secundarias (como es el caso de Santa María del Mar), sino que muchas casas que se ubican en las zonas costeras son de residencia permanente.

La “densidad poblacional” es una variable indispensable para identificar la presión que ejerce la población en las zonas costeras. Este parámetro ha sido recientemente incorporado en los estudios de vulnerabilidad y hay pocos autores (Sarajit et al., 2015; Aguilar, M., 2015; McLaughlin, et al., 2002, entre otros) que lo consideran. No obstante, en esta investigación es fundamental su estudio pues la mayor parte de sectores ha aumentado en población en los últimos años y la densidad en la mayor

parte de los casos se presenta como de “muy alta” vulnerabilidad. Estos últimos sectores corresponden a Pulpos, San Bartolo, Santa María y Pucusana. Estos sectores, además, se caracterizan por tener el máximo puntaje en el uso de suelo. Corresponden entonces a zonas residenciales, comerciales y de recreación de alta densidad.

La variable “distancia a la infraestructura” (a la primera infraestructura que haya en el sector) corresponde a la medida que otros autores llaman “ancho de playa” o “proximidad a la costa” (Ros, 2014; Özurt, G., & Ergin, A., 2010). Este criterio puede representar de mejor manera el área de influencia de ciertos impactos en la costa (Cruz et al., 2014). De esta manera, esta variable es importante pues una distancia mayor de la costa permite aminorar impactos si la playa tiene una tendencia erosiva o frente a cualquier maretao o inundaciones, de ser el caso. En las conclusiones de Tavares, C. & Drenkhan, F. (2010), se afirma que la erosión se acelera en los sectores ocupados, al contrario de los “baldíos” donde la costa se ha mantenido estable. Según los resultados, en comparación con las otras variables socioeconómicas, ésta es la que presentó menores sectores catalogados con “muy alta vulnerabilidad”, a excepción de Señoritas, Embajadores y San Bartolo. De estos tres, el sector de San Bartolo en algunas playas ya no presenta zona de berma. Los sectores que resultaron menos vulnerables fueron el de Punta Negra, Santa María y Lurín. Las máximas distancias se presentaron en este último sector, en donde las primeras infraestructuras se encuentran alejadas más de 120 metros hacia el continente.

De acuerdo a los factores socioeconómicos, la mayor parte de los sectores obtuvieron mayores puntajes y esto quiere decir que estos factores **resultan ser más decisivos al momento de evaluar la vulnerabilidad**. El grado de urbanización y la cantidad de actividades que se desarrollan en la zona de estudio afectan e influyen en mayor medida en el aumento de la vulnerabilidad a verse afectada la zona costera, ya que nueve sectores son más vulnerables a nivel socioeconómico. Los tres sectores que

obtuvieron los máximos puntajes, resultando altamente vulnerables en cada una de las tres variables socioeconómicas fueron el de Señoritas, San Bartolo y Pucusana. Éstos se caracterizan por estar muy poblados, tener poca distancia a la primera infraestructura y tener un uso de suelo residencial, recreacional o comercial. Los otros seis sectores también comparten en alguna de las variables humanas características similares.

Con respecto a las variables físicas, la de “pendiente de playa” se escogió pues está presente en muchos de los estudios de vulnerabilidad que se aplican para estas zonas (Zújar et al, 2008; Kokot et al., 2004; P. Sheik & N. Chandrasekar, 2013; entre otros). Éstos indican que mientras menor sea la pendiente habrá mayor vulnerabilidad, ya que las playas son más planas y los procesos erosivos de las olas se acrecentarán en los primeros metros de la costa. Los únicos sectores clasificados con “muy alta” vulnerabilidad de acuerdo a este parámetro fueron el de Lurín y Pucusana y los que obtuvieron “baja” vulnerabilidad fueron el San Bartolo y Roca.

La variable “geomorfología” es considerada la principal al momento de evaluar la vulnerabilidad costera. Esto se afirma, pues las costas son sistemas dinámicos y variados, que están formados sobre diferentes tipos de sustratos y sedimentos que le confieren diferentes características de paisaje y estructura al sector costero. Según Zújar et al. (2008), la variable geomorfología se considera en función de la resistencia que ofrece el soporte geológico a la erosión. Costas donde predominen los acantilados, costones rocosos, tendrán menor vulnerabilidad; sin embargo, playas extensas y poco elevadas presentarán alta vulnerabilidad. Según los resultados obtenidos ningún sector fue clasificado con el máximo puntaje y 53% de los sectores presentan moderada vulnerabilidad obteniendo un puntaje de 3, lo cual indica que la mayor parte de los sectores presentan terrazas marinas de mediana y alta altura sobre roca poco consolidada. El 47% restante de sectores corresponden a playas de arena extensas que fueron clasificados con “alta” vulnerabilidad.

La variable de “Desplazamiento de la línea costera” es otro parámetro de mucha importancia en el estudio de la vulnerabilidad y está presente en la mayor parte de investigaciones sobre este tema. Esto se debe a que cuando se calcula el desplazamiento de la línea de costa por unidad de tiempo, se obtiene la tasa de erosión y ésta tasa es indispensable para conocer el estado de la costa y su posible variación a lo largo del tiempo. Los resultados son variables, y los sectores en donde el retroceso de la línea costera es significativo (alta vulnerabilidad) corresponden al Silencio, El Revés, San Bartolo y Embajadores. Estos sectores presentan playas de bolsillo, con poca entrada de material, muy pobladas, poca berma con estructuras de protección costera, como rompeolas, espigones y zonas de mulles. Por el contrario los sectores que no presentan erosión costera y se encuentran estables (baja vulnerabilidad) son los de Lurín, Quebrada y Honda. Estos últimos son lugares con playas amplias, que presentan aporte de sedimentos y poca densidad poblacional.

Al observar los resultados de acuerdo a los parámetros físicos, se concluye que las características físicas (geológico-geomorfológicas) **reducen la vulnerabilidad de la zona costera de estudio**. Solo cuatro sectores resultan tener mayores puntajes en este parámetro como lo son Lurín, El Silencio, Punta Negra y Revés. Estos sectores obtienen mayores puntajes por tratarse de llanuras costeras con poca pendiente. Los restantes sectores obtienen menores puntajes y por lo tanto menor influencia a verse afectado por razones físicas. Ningún sector obtiene máximo puntaje en todas las variables físicas.

Para una evaluación más completa y compleja de la vulnerabilidad costera sería recomendable ampliar la escala de estudio y adicionar al índice de vulnerabilidad otras variables físicas como “altura de la ola”, “rango mareal”, “elevación” (Özurt, G., & Ergin, A., 2010; Abuodha & Woodroffe, 2009; G. Diez et al, 2007; entre otros), y otras variables humanas como “porcentaje de área desarrollada”, “tipo y cantidad de infraestructuras”, “sitios prioritarios”, “protección artificial y natural” (Rangel &

Posada, 2013; Cruz et al., 2014, entre otros). Esto permitiría tener más información disponible que permita elaborar futuros protocolos de actuación ante situaciones de riesgo costero.

Cada de una de las seis variables analizadas anteriormente fueron aplicadas en las trece unidades de análisis, en las que se dividió la zona de estudio en la presente investigación. Esta división en unidades “básicas” de diferentes longitudes pero con características similares fue necesaria para conseguir un resultado más preciso y completo de toda el área de estudio. Los límites de las unidades no coinciden con los límites administrativos distritales, es decir, cada unidad se dividió tomando en consideración las puntas rocosas que sobresalen en la zona costera y que separan la mayor parte de las playas. La determinación de cada unidad se basó en la morfología del litoral y también en la disposición de la infraestructura urbana. Tal como menciona Anfuso, G. (2013), los sedimentos dentro de cada unidad de análisis pasan de una unidad a otra, en función de la dirección de aproximación del oleaje y de las características de los límites entre ellas. Cada unidad separada por puntas rocosas tiene un comportamiento, de las dinámicas costeras, homogéneo que fue base para poder diferenciarlo de las demás unidades.

Muchos autores (Anfuso, G., 2003; Cruz, C. et al., 2014; Núñez, J., Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., Gama, L., 2016, entre otros) dividen su área de estudio en unidades más pequeñas (también llamadas “celdas”, “sectores”, entre otros), que pueden ser homogéneas o tener características diferentes. No obstante, esta división no necesariamente responde a los límites administrativos ya establecidos en cada área de estudio. Esto último es muy importante ya que se evita la generalización de las variables y los resultados en el análisis. De esta forma, una evaluación más a detalle de la zona costera permite obtener resultados más detallados, precisos.

Es necesario continuar con la aplicación de este método en toda la línea costera del país, optimizando la metodología y adicionando otras variables de estudio, y así lograr realizar comparaciones y confirmar los resultados obtenidos. Además, no se

debe descartar la posibilidad de informar a la población sobre los resultados de cada IVC que se aplique para que se consiga contrarrestar el factor de vulnerabilidad en las zonas costeras, con futuros planes de gestión de riesgo, medidas de adaptación, u otros.



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Los resultados finales del IVC aplicado en la zona de costera demuestran que un 70% de las unidades de análisis estudiadas se encuentran catalogadas con “alta” y “muy alta” vulnerabilidad. El análisis por variables demuestra que los factores socioeconómicos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad de la zona costera y los parámetros físicos, la disminuyen. Los sectores densamente poblados, con poca distancia a la primera infraestructura y con playas de arena amplias y de poca pendiente son altamente vulnerables. Por el contrario, sectores que presentan roca consolidada, terrazas marinas de mediana altura, poca densidad poblacional y menos elementos de protección costera son sectores que presentan baja vulnerabilidad.

De las trece unidades de análisis evaluadas, las clasificadas como de “muy alta” vulnerabilidad, susceptibles ante cualquier evento de aumento del nivel del mar, fueron las de Señoritas, Embajadores y Pucusana. Asimismo las unidades menos vulnerables clasificadas de “muy baja” vulnerabilidad fueron el de Lurín, Quebrada y el sector Roca. Las restantes unidades obtuvieron “alta”, “baja” y “moderada” vulnerabilidad dependiendo de los puntajes que obtuvieron en cada una de las seis variables estudiadas.

Las variables que contribuyeron más al aumento de la vulnerabilidad en la zona de estudio fueron el uso de suelo, en donde la mayor parte de sectores obtiene un máximo puntaje, a excepción de Lurín; y las variables de pendiente y densidad poblacional. Las que menos contribuyen a aumentar la vulnerabilidad, o las que obtuvieron en general menor puntaje, fueron la variación costera y la geomorfología. A pesar de que pocas unidades de análisis obtienen alto puntaje en estas últimas dos variables, es necesario tomar en cuenta todas las excepciones ya que todos los factores estudiados están correlacionados y de esta manera se puede tener una idea más sistémica de lo que está ocurriendo o podría ocurrir en la zona costera.

Cabe destacar que la aplicación del IVC en trece unidades de análisis, identificadas en el área de estudio permitió lograr una aproximación más completa y factible de las variables en estudio. El criterio de división de cada unidad de análisis se basó en establecer un método de separación en el cual cada unidad tuviese características físicas y humanas parecidas. Asimismo, la no generalización de los datos obtenidos por cada variable, permitió obtener información detallada y específica de cada unidad de análisis. Es decir, se analizó la información en la zona costera, en los primeros metros hacia el continente. De esta manera, los resultados fueron precisos y detallados.

Esta investigación permitió obtener un primer avance en la aplicación del IVC en la zona costera en estudio ubicada al sur de la ciudad de Lima. Se pudo probar la metodología y corroborar la efectividad del análisis para la determinación y evaluación de la vulnerabilidad. Se recalca con esta investigación la importancia del análisis integrado de variables socioeconómicas y físicas en cada IVC, la correcta elección de las variables de estudio que serán integradas en el índice, la separación en unidades de análisis de la zona costera y la información obtenida a detalle correspondiente a cada unidad de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- Abuodha, P. A. & Woodroffe, C. D. (2010). Assessing vulnerability to sea level rise using coastal sensitivity index: a case of study from southeast Australia. *Coastal Conservation*, 14, 189-205. doi: 10.1007/s11852-010-0097-0
- Adger, W. Neil (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268-281. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Aguilar Lynch, M. (2015). *Propuesta de un índice de vulnerabilidad costera aplicado a tres sectores de la región Lima*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Aldana, P., Ramírez, A., Godínez, L., Cruz, S. & Juárez, A. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la riviéra Maya, México. *Avances en Recursos Hidráulicos*, 20, 41-56.
- Anfuso, G. & Martínez, J. (2009). Assessment of Coastal Vulnerability through the use of GIS tools in South Sicily (Italy). *Environmental Management*, 14, 533-545.
- Anfuso, G. (2003) Caracterización de celdas litorales en un tramo costero aparentemente homogéneo del litoral de Cádiz (so de España). *Revista C&G*, 36pp.
- Appeaning, K. (2014). Coastal Vulnerability Index to sea-level rise in Ghana. *Coastal and Marine Research*, 2(1), 1-7.
- Avalos, M. y Torero, G. (2015). Challenges to Sustainable Development along Peruvian Coastal Zones. En J. Batzan, O. Chouinard, B. Jorgensen, P. Tett, J-

- P. Vanderlinden, L. Vaseeur. *Coastal Zones: Solutions for the 21st Century* (pp. 199–213).
- Berninson, Ortiz, Monteferri, & Zamudio. (2006). *La costa y su gente: Interacciones humanas en zona costera peruana*. Lima: Ediciones Nova.
- Bird, Eric C. F. (1985). *Coastline Changes: A Global Review*. Nueva York: Wiley.
- Bruun (1963). Longshore currents and longshore troughs. *Journal of Geophysical Research*. 68 (4).
- Church, A., & White, J. (2011). Sea Level rise from the late 19th to the early 21st century. *Survey Geophysics*, 32, 585-602. doi: 10.1007/s10712-011-91191
- Cruz, Mendoza & Silva (2014). Evaluación de la vulnerabilidad de las costas mexicanas. *XIII Congreso Nacional de Hidráulica*. México, Jalisco.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA (1997). Ley de Playas N° 26856. Lima, 8 de Septiembre de 1997.
- Damla, Aysím (2010). Assessment of sea level rise for coastal zone management: vulnerability of *Fethiye Bay*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica del Medio Oriente, Ankara.
- Di Paola, G., Iglesias, J., Rodríguez, G., Benassai, G., Aucelli, P. & Pappone, G. (2011). Estimating Coastal Vulnerability in a Meso-Tidal Beach by Means of Quantitative and Semi-Quantitative Methodologies. *Coastal Research*, 61, 303-308.
- Diez, P., Perillo, G., & Picollo, C. (2007). Vulnerability to sea-level rise on the Coast of the Buenos Aires Province. *Journal of Coastal Research*, 23(1), 119-126.

Dwarakish, G.S, S.A. Vinay, Usha Natesan, Toshiyuki Asano, Taro Kakinuma, Katta Venkataramana, B. Jagadeesha & M.K Babita (2009). Coastal vulnerability assesment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India". *Ocean and Coastal Management*, 52, 467-478.

Ecsa Ingenieros (2015). Proyecto provisión de servicios de saneamiento para los distritos del Sur de Lima (Provisur). Estudio de Impacto ambiental detallado. Lima.

Emery, K. O. (1961). A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*. 6, 90-93.

Fauzi, M., F., Hin, L., & Kamarul, M. (2014). Coastal Vulnerability Assessment towards Sustainable Management of Peninsular Malaysia Coastline. *Environmental Science and Development*, 5(6), 533-538.

Füssel & Klein (2006). Climate Change Vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change*, 75, 301-329.

Füssel, Hans-Martin (2007). Vulnerability: A generally Applicable Conceptual Framework for Climate Change Research. *Global Environmental Change*, 17(2), 155-167.

Gentil de Farias & Parente M. (2010). Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada* 10 (4) 521-544.

- Grández, María (2010). Estudio de la variabilidad de línea de costa: La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona. Lima, Perú 1936-2008. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- González L. M., D’Croz, L., & Gómez, J.A. (2012). Vulnerabilidad de las Playas arenosas del Caribe de Panamá a la elevación del nivel del mar. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 51(2), 187-191.
- Gornitz, V., & White, T.W. (1992). A coastal hazards database for the U.S. West Coast. (Informe Técnico ORNL/CDIAC-81, NDP-043C). Tennessee: Laboratorio Nacional de Oak Ridge.
- Gornitz, V., White, T.W., & Cushman, R.M. (1991). Vulnerability of the U.S. to future sea-level rise. Coastal zone '91. En *Symposio de costas y manejo costero*, (7), 2354-2368.
- Gornitz, V.M., Daniels, R.C., White, T.W., & Birdwell, K.R. (1994). The development of a coastal vulnerability assessment database; vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast. *Journal of Coastal Research*, 12, 327-338.
- Gutiérrez, D., Bertrand, A., Wosnitza-Mendo, C., Dewitte, B., Purca, S., Peña, C., Chaigneau, A., Tam, J., Graco, M., Echevin, V., Grados, C., Freón, P., & Guevara-Carrasco, R. (2011). Sensibilidad del Sistema de afloramiento costero del Perú al cambio climático e implicancias ecológicas. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* (3), 1-26.
- Hammar-Klose, E.S., & Thieler, E.R. (2001). Coastal vulnerability to sea-level rise, a

preliminary database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of México coasts. *Geological Survey, Digital Data Series, DDS- 68*. Recuperado de <http://pubs.usgs.gov/dds/dds68/>

Hammar-Klose, E.S., & Thieler, E.R. (1999). National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. U.S. *Geological Survey, Open-File Report, 99-593*.

Herrera-Silveira, J., Comin, F., Aranda-Cirerol, N., Troccoli, L. & Capurro, L. (2004). Coastal water quality assessment in the Yucatan Peninsula: management implications. *Ocean and coastal management, 47*, pp. 625-639.

Hinkel, J., Nicholls, R., Tol, R., Wang, Z., Hamilton, J., Boot, G., Vafeidis, A., McFadden, L., Ganopolski, A., & Kelin, R. (2013). A global analysis of erosion of Sandy beaches and sea-level rise: an application of DIVA. *Global and Planetary Change, 111*, 150-158.

INEI (2007). Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda. Perú.

INEI (2012). I Censo Nacional de la pesca artesanal del ámbito marítimo, 2012. Perú.

IPCC, 2014. *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 1-34 pp.

- Jie Yin, Zhane Yin, Jun Wang & Shiyuan Xu (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Journal of Coastal Conservation*. 16, No. 1, pp. 123-133.
- Kokot, R., Codignotto, J., & Elissondo, M. (2004). Vulnerabilidad al ascenso del Nivel del mar en la costa de la provincia de Río Negro. *Asociación Geológica Argentina*. 59(3), 477-487.
- Leceta, F. (2009). Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y Sistemas de Información Geográfica: Bahía De Miraflores, Perú 1936-2005. Tesis de licenciatura. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Ley N° 26856. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 25 de abril del 2006.
- McLaughlin, S., McKenna, J. & Cooper, J.A.G. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*, 36, 487-497.
- Martí, M. (2011). Vulnerabilidad física de la costa Catalana a diferentes agentes. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Méndez, M. (2011). Análisis preliminar de la vulnerabilidad de la costa de Andalucía a la potencial subida del nivel del mar asociado al cambio climático. *Consejería de Medio Ambiente en colaboración con el Grupo de Investigación del PAIDI: Ordenación Litoral y Tecnologías de Información Territorial de la Universidad de Sevilla*, 151 páginas.

Milligan, Wilcox & Hardaway (2011). Shoreline evolution: Surry County, Virginia James River Shorelines. *Virginia Institute of Marine Science, Data Summary Report*.

Ministerio de la producción (2016). Anuario estadístico pesquero y acuícola. Dirección general de políticas y desarrollo pesquero. Lima, Perú.

Mohd, M., Lee, H. & Mohd, S. (2014). Coastal vulnerability assessment towards sustainable management of peninsular Malaysia coastline. *International Journal of Environmental Science and Development*, 5, 6, pp. 533-538.

Nicholls, R.J. (2011). Constructing Sea-Level Scenarios for Impact and Adaptation Assessment of Coastal Areas: A Guidance Document. Panel Intergubernamental del cambio Climático, escenario de soporte de análisis de impacto y cambio climático (TGICA), pp. 1-47.

Novoa, Zaniel (2007). Geografía de las zonas marino-costeras: El litoral pacífico peruano. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.

Nuñez, J., Ramos, R., Barba, E., Espinoza, A., Gama, L. (2016). Índice de vulnerabilidad costera del litoral Tabasqueño, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 91, pp. 70-85.

Ojeda, J., Álvarez, J., Martín, D., & Fraile, P. (2008). El uso de las TIG para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) ante un potencial

subida del nivel del mar en la Costa Andaluza. *Tecnologías de la información Geográfica para el desarrollo territorial*, 660-671.

Osvaldo, J. (1987). Glosario Geomorfológico marino. *Asociación Geológica Argentina*, Buenos Aires, 17, pp. 1-70.

Özurt, G., & Ergin, A. (2010). Improving coastal vulnerability assessment to sea-level rise: a new indicator-based methodology for decision makers. *Journal of Coastal Research*, 26(2), 265-273.

Palacios, O., Vidal, J., y Churchil (1992). Geología de los cuadrángulos de Lima, Chancay y Chosica. Lima: INGEMMET.

Ramiery, E., Harley, A., Barbanti, A., Duarte, F., Gomes, A., Hilden, M.,
Laihonen, P., Marinova, N., & Santini, M. (2011). *Methods for assessing coastal vulnerability to climate change*. (Informe técnico 1). Bologna: Agencia Europea Ambiental (AEA).

Rangel-Buitagro N., & Posada-Posada B. (2013). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio. *Revista Intropica*, 8, 29-42, ISSN 1794-161X.

Ronald, D. (2012). *Applying a costal vulnerability index (CVI) to the Westfjords, Iceland: a preliminary assessment* (Tesis). Universidad de Akureyri, Akureyri, Facultad de negocios y ciencias.

- Rondón, G. (2011). Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007. *Espacio y Desarrollo* 23, pp. 93-114. Lima.
- Ros M., D. (2014). *Zonificación de la costa noroccidental del Mediterráneo para la evaluación de los riesgos asociados al cambio climático*. (Tesina). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, Departamento de Ingeniería hidráulica, Marítima y Ambiental.
- Sarajit, O., Nakhapakorn, K., Jirakajohnkool, S., Tienwong, K. & Pansuwan, A. (2015). Assessing Coastal composite vulnerability indices on seasonal change in Phetchaburi Thailand. *Environment Asia*, 8 (1), pp. 115-123.
- Sueiro J., Cornejo, A., & Castro, P. (2005). La zona costera peruana: recursos, usos y gestión. Lima: Nova.
- Shaw J., Taylor R.B., & Forbes D.L., Ruz M.-H & Salomon S. (1998). Sensitivity of the coasts of Canada to sea level rise. *Geological survey of Canada. Bulletin* 505.
- Sheik, P., & Chandrasekar, N. (2013). Coastal erosion hazard and vulnerability assessment for southern coastal Tamil Nadu of India by using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, 69, 1295-1314. doi: 10.1007/s11069-011-9962-X.
- Suresh, D. S., Sivalingam, S., & Machado, T. (2012). Need for adaptation strategy against global sea level rise: an example from Saudi coast of Arabian gulf.

Mitigation, adaptation and strategies for Global Change, 17, 821-836.
doi:10.1007/s11027-011-9346-2.

Tassara, D., & García, M. (2005). Erosión marina, vulnerabilidad e impactos antrópicos en el sudeste Bonaerense. *Tiempo y Espacio*, 15, 113-126.

Tavares, C. & Drenkhan, F. (2010). Variación de la línea de litoral entre Puerto Chicama y Puémape, La Libertad, Perú (1961-2006). *Espacio y desarrollo*, 22, pp.103-117

Tavera, H., Bernal, I. & Gómez, J.C. (2010). Zonificación Sísmico-Geotécnico para 7 distritos de Lima Metropolitana (Comportamiento Dinámico del Suelo): Proyecto SIRAD. CE-PNUD-INDECI-IGP-IRD-COOPI. Lima, Perú.

Teves, Laos, Carrasco, San Roman, Pizarro, Cardenas & Romero, (1996). Sea-Level Rise along the Lima Coastal Zone, Peru, as a Result of Global Warming: Environmental Impacts and Mitigation Measures. En: *Adapting to Climate Change*, 1era edición. pp. 283-298.

Thieler, E.R., and Hammar-Klose, E.S., (2000). National Assessment of Coastal Vulnerability to Future Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. *U.S. Geological Survey*. Open-File Report 99-593.
Recuperado de: <http://pubs.usgs.gov/dds/dds68/reports/gulfrep.pdf>

Torresan, S., Critto, A., Dalla, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assesing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales". *Sustainability Sciences*, 3(1), 45-65.

Vázquez, Alfonso (2008). Evaluación regional de la vulnerabilidad actual y futura de la zona costera mexicana y los deltas más impactados ante el incremento del

nivel del mar debido al cambio climático y fenómenos hidrometeorológicos extremos. (Informe Final INE/A1 -051). México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.

Verdi, Mortimer (2007). Evaluación de la erosión lineal costera en la ciudad de Lechería, Estado Anzoátegui. *Revista Terra Nueva Etapa*, 23(33), 13-38.

Yin, J., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coastl. *Journal Coastal Conservation*, 16, 123-133.

Zhang, K., Douglas, B., & Letherman, S. (2004). Global Warming and Coastal Erosion. *Climate Change*, 64, 41-58.

Zújar, J., Álvarez, J., Cajaraville, D. & Jurado, P. (2009). El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus*, n° 9, pp. 83-100.

Fuente de Internet

MINISTERIO DE EDUCACIÓN DEL PERU [MINEDU-WEB]
<http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE [MINAM-WEB]
<http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/>