

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



GEOMORFOLOGÍA, DINÁMICAS Y VULNERABILIDAD COSTERA

Identificación de la vulnerabilidad costera en los balnearios
de Máncora, Los Órganos y Punta Sal

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL EN GEOGRAFÍA Y MEDIO
AMBIENTE QUE PRESENTA EL BACHILLER:

DIEGO VILLANUEVA ARRELUCE

ASESOR: CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

Lima, Noviembre, 2017

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis contó con el apoyo de la Dirección de la Gestión de la Investigación de la PUCP, para la compra de fotos aéreas, satelitales y otros materiales (proyecto DGI 153-2015-1-0018). Además del apoyo del Grupo Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Sostenible y del Laboratorio de Química Ambiental de la PUCP, por el laboratorio, equipo y materiales necesario para el procesamiento y análisis de sedimentos.

Agradezco a mi asesor de tesis, el Dr. Carlos Tavares Correa, por todo su apoyo, ideas y comentarios. Además de su confianza y paciencia, desde el inicio hasta el final de esta investigación.

Quiero agradecer también al equipo de investigación de campo quiénes me acompañaron a la recolección de perfiles de playa y mediciones: Mi hermano, Rodrigo Villanueva Arreluce, y los geógrafos, Bachiller Diego Espejo Ordonio y Carolina García Pye. Gracias también, a mis profesores de los cursos de tesis, por el apoyo en la estructura y funcionamiento de una investigación.

Finalmente quiero agradecerles a todas las personas que me escucharon y alentaron a lo largo del proceso de esta investigación, profesores, colegas, familiares y amigos.

RESUMEN

El planeta se ve afectado por el aumento de CO₂ en la atmósfera, el calentamiento global y el cambio climático. Estos procesos generan impactos secundarios como el aumento del nivel del mar, debido derretimiento de capas polares y glaciares montañosos junto con la expansión térmica de los océanos, los cuales en conjunto, generan impactos en el litoral, como el aumento de la erosión costera, inundaciones, entre otros. En el Perú, a pesar de que el litoral alberga a más del 55% de la población, la presión antrópica, vulnerabilidad costera e impactos debido al aumento del nivel del mar no han sido identificadas, por falta de investigaciones.

El objetivo general de esta tesis buscó identificar la vulnerabilidad costera de los balnearios de Máncora, Los Órganos y Punta Sal, mediante la aplicación de un Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), con la finalidad de reducir la vulnerabilidad, proteger la infraestructura y vidas humanas. Las preguntas de investigación fueron las siguientes: ¿Cuál es la variabilidad de la línea costera en el área de estudio? ¿Cuáles son los sectores más o menos vulnerables a la erosión costera dentro del área estudiada?, ¿Qué variables físicas y socioeconómicas se deben tener en cuenta para caracterizar y estudiar la vulnerabilidad en la zona de estudio? ¿Cuál es el impacto y aporte de las variables seleccionadas a la vulnerabilidad?, ¿El método del Índice de Vulnerabilidad Costero mediante el uso de SIG, permite identificar zonas prioritarias de protección costera? ¿Qué limitaciones presenta?

Para responder estas preguntas y lograr el objetivo principal fue necesario caracterizar geomorfológicamente y socioeconómicamente la zona de estudio con la finalidad de identificar posibles variables para el análisis en el IVC. De esta manera se pudo determinar las variables definitivas de acuerdo a la vulnerabilidad, siendo tres variables físicas: pendiente, geomorfología y variación de la línea de costa y tres variables socioeconómicas: uso de suelo, densidad poblacional y distancia de la infraestructura a la línea de costa. Se utilizaron diferentes herramientas y métodos para el análisis de la vulnerabilidad, como el uso de fotografías aéreas e imágenes satelitales, mediciones en campo y análisis de sedimento en laboratorio. El procesamiento, análisis e ilustración fue realizado en el sistema de información geográfico Arcmap.

Los resultados obtenidos indican que de las tres sub áreas de estudio (SAE) analizadas, las más vulnerables son las SAE 1 y 2, con una vulnerabilidad “Moderada”, seguidas de la SAE 3 con una vulnerabilidad “Baja”. Se obtuvo también que las variables físicas como pendiente, la geomorfología y la densidad poblacional, tuvieron

un aporte a la vulnerabilidad, mientras que la variabilidad costera y el uso de suelo no generaron un cambio significativo. Respecto a la elección y combinación de las variables en el IVC, el método se consideró efectivo, pero se debe tener mucha consideración en la clasificación de estas variables.

Finalmente, esta tesis presenta una primera aproximación a la vulnerabilidad costera mediante la aplicación del IVC en el área de estudio, identificando los principales factores que reducen o aumentan esta vulnerabilidad. Además contribuye a generar una geodatabase de información de la zona de estudio para futuras investigaciones sobre la vulnerabilidad costera.



ABSTRACT

The planet is affected by increments of CO₂ emissions in the environment, global warming and climate change. These processes generate secondary impacts, like sea level rise, due to the melting of polar layers, mountain glaciers and oceanic thermal expansion, which generate impacts on the coast, such as coastal erosion, floods, among others. In Peru, despite the fact that the coast is home to more than 55% of the population, anthropic pressure and its consequent coastal vulnerability and sea level rise impacts to have not been identified due to lack of research.

The main objective of this thesis was to identify the coastal vulnerability of Máncora, Los Órganos and Punta Sal, by applying a Coastal Vulnerability Index (IVC), in order to reduce vulnerability, protect infrastructure and human lives. The research questions were the following: What is the variability of the coastline in the study area? Which sectors are more or less vulnerable to coastal erosion within this area? Which physical and socioeconomic variables should be taken into account to characterize and study the coastal vulnerability in the study area? What is the impact and contribution of the selected variables to the coastal vulnerability? Does the Coastal Vulnerability Index method, through the use of GIS, identify priority coastal protection zones? What limitations does it present?

To answer this questions and archive the objectives, it was necessary to characterize geomorphologically and socioeconomically the study area in order to identify possible variables for the analysis in the IVC. In this way, the final variables could be determined according to the vulnerability, with three physical variables: slope, geomorphology and coastline variation and three socioeconomic variables: land use, population density and distance from the infrastructure to the coastline. Different tools and methods were used for the analysis of vulnerability, such as the use of aerial photographs and satellite images, field measurements and sediment analysis in the laboratory. The processing, analysis and illustration was made in the geographic information system Arcmap.

The results obtained indicate that of the three sub-areas studied (SAE), the most vulnerable are SAE 1 and 2, followed by SAE 3 with a "Low" vulnerability. It was also obtained that the physical variables such as slope, geomorphology and population density had a contribution to vulnerability, while coastal variability and land use did not generate a significant change. The combination of the variables was effective, but great consideration should be given to the classification of these variables.

Finally, this thesis presents a first approach to coastal vulnerability through the application of IVC in the studied area, identifying the main factors that reduce or

increase this vulnerability. It also contributes to generate a geodatabase of information of the study area for future investigations on coastal vulnerability, municipal management plans, among others.



ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XII
SIGLAS Y ACRONIMOS	XIII
1. INTRODUCCIÓN: CAMBIO CLIMÁTICO Y AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR	1
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Preguntas de investigación	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	5
2. MARCO TEÓRICO SOBRE LAS DINÁMICAS COSTERAS	6
2.1 Conceptos básicos.....	6
2.1 Teorías	12
2.1.1. Perfil de equilibrio	12
2.1.2. Variación del nivel del mar	13
2.1.3. Regla de Brunn	14
2.1.4. Análisis granulométrico de sedimentos	16
2.1.5. Procesos geodinámicos costeros.....	18
2.1.6. Evaluación de la Vulnerabilidad Costera	19
3. ÁREA DE ESTUDIO: MÁNCORA, LOS ORGANOS Y PUNTA SAL	28
3.1. Clima general y dinámicas naturales.....	30
3.2. Geología y geomorfología general	31
3.3. Descripción socioeconómica.....	34
4. METODOLOGÍA.....	39

4.1 Enfoques y etapas de la investigación	39
4.2. Índice de Vulnerabilidad Costera	42
4.3. Definición de las unidades de análisis.....	43
4.4 Levantamiento de perfil y cálculo de pendiente de playa	46
4.5. Geomorfología y sedimentos	49
4.5.1. Sedimentos.....	49
4.6. El análisis espacio-temporal del cambio de la línea de costa	53
4.6.1. Margen de error	55
4.7. Distancia de las estructuras a la costa	56
4.8. Uso de suelo cercano a la costa	56
4.9. Densidad poblacional.....	57
4.10. Aplicación del índice de vulnerabilidad costera	57
5. RESULTADOS	59
5.1 Variables definitivas	59
5.1.1. Pendiente.....	59
5.1.1.1. Perfiles de playas.....	59
5.1.1.2. Sedimentos	74
5.1.2. Geomorfología	77
5.1.3. Uso de suelo en la primera fila	82
5.1.4. Densidad poblacional.....	84
5.1.5. Distancia de las estructuras de la primera fila a la costa	85
5.1.6. Cambio de línea de costa	87
5.2. Aplicación del Índice de vulnerabilidad costera	94
6. DISCUSIÓN.....	101
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108
BIBLIOGRAFÍA.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una célula litoral	9
Figura 2. Unidades fisiográficas de la playa	11
Figura 3. Perfil de equilibrio	13
Figura 4. Etapas de la regla de Brunn.....	15
Figura 5. Escala Udden – Wentworth.....	17
Figura 6. Mapa de la zona de estudio	29
Figura 7. Características del oleaje y viento en la zona de estudio	31
Figura 8. Unidades geomorfológicas.....	33
Figura 9. Condición de ocupación de Los Órganos, Máncora y Punta Sal	36
Figura 10. Flujograma del proceso de la investigación.....	41
Figura 11. Método de balizas de Emery.....	47
Figura 12. Triangulo para calcular el ángulo de la pendiente del perfil de playa.....	48
Figura 13. Flujograma de tamizado de muestras de sedimento	51
Figura 14. Eliminación de carbonatos en las muestras de sedimento	52
Figura 15. Triangulo para calcular la variación horizontal de la marea.....	55
Figura 16. Mapa de playas y perfiles	60
Figura 17. Tablazo erosionado de Punta Veleros	61
Figura 18. Perfiles de Punta Veleros.....	62
Figura 19. Playa Sur de Los Órganos	62
Figura 20. Perfiles de Los Órganos.....	63
Figura 21. Playa aluvial de Vichayito	64
Figura 22. Perfiles de Vichayito	64
Figura 23. Erosión en Pocitas	65
Figura 24. Perfiles de Pocitas	66
Figura 25. Playa principal y malecón de Máncora.....	67
Figura 26. Perfiles de Máncora	68
Figura 27. Dunas en desembocadura de río Máncora - El Bravo	68
Figura 28. Perfiles de El Bravo	69
Figura 29. Pueblo de Punta Sal	70
Figura 30. Perfiles de Punta Sal	71
Figura 31. Canal de drenaje para efluentes de quebradas.....	71
Figura 32. La bahía de Cancas.....	72
Figura 33. Perfiles de Cancas.....	72
Figura 34. Formas geomorfológicas en la zona de estudio	79
Figura 35. Mapa geomorfológico de la zona de estudio	81

Figura 36. Usos de suelo en la zona de estudio.....	83
Figura 37. Contacto del mar con malecón de Máncora	86
Figura 38. Variabilidad costera en zona de estudio.....	88
Figura 39. Cambio de línea de costa en la zona de estudio.....	89
Figura 40. Tasa anual de variación en la SAE – 1 (1961-2017)	91
Figura 41. Tasa anual de variación en la SAE – 2 (1961-2017)	92
Figura 42. Tasa anual de variación en la SAE – 3 (1961-2017)	93
Figura 43. Vulnerabilidad de las áreas de estudio para el IVC	100



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escalas de clasificación costera.....	7
Tabla 2. Población total censada en 1993 y 2007.....	35
Tabla 3. Designación de sub-áreas de estudio	44
Tabla 4. Coordenadas de puntos que delimitan las SAE's	45
Tabla 5. Tamaño de tamices en tamaño Phi y Micrones.....	50
Tabla 6. Valores de pendiente en la zona de estudio.....	73
Tabla 7. Resultado granulométrico de laboratorio.....	75
Tabla 8. Resumen de resultados granulométrico de laboratorio y pendiente	76
Tabla 9. Uso de suelo en la zona de estudio	84
Tabla 10. Densidad poblacional en distritos aledaños a zona de estudio.....	85
Tabla 11. Distancia de las estructuras a la costa en la zona de estudio.....	87
Tabla 12. Resultados y promedios de análisis del cambio de línea de costa	93
Tabla 13. Variables y rangos en el Índice de vulnerabilidad costera	97
Tabla 14. Rango de clasificación de IVC.....	98
Tabla 15. Puntaje parcial según IVC por playa	98
Tabla 16. Resultados y calificación del IVC total.....	99
Tabla 17. Rangos de clasificación de IVC físico y socioeconómico.....	105
Tabla 18. Resultados de clasificación de IVC físico y socio-económico	106

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Regla de Brunn.....	14
Ecuación 2. Delimitación de vulnerabilidad.....	21
Ecuación 3. Índice de Vulnerabilidad Costera.....	22
Ecuación 4. Índice de Vulnerabilidad Costera.....	22
Ecuación 5. Modificación de IVC clásico.....	24
Ecuación 6. Modificación de IVC clásico con pesos	25
Ecuación 7. Calculo de ángulo de pendiente de perfil de playa	48
Ecuación 8. Cálculo de variación horizontal de la marea	55
Ecuación 9. Cálculo del índice de vulnerabilidad costera.....	58

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

DSAS	Digital Shoreline Analysis System
ENSO	El Niño Southern Oscillation
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
ANM	Aumento del Nivel del Mar
IPCC	International Panel for Climate Change
IVC	Índice de Vulnerabilidad Costera
SIG	Sistema de Información Geográfico
USGS	United States Geological Survey
CO₂	Dióxido de Carbono
OMM	Organización Meteorológica Mundial
SAE	Sub-área de estudio
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
SIS	Sistema Integrado de Salud
ESSALUD	Seguro social de salud
PEA	Población Económicamente Activa
LANDSAT	Land Satellite
AE	Área de estudio

INTRODUCCIÓN: CAMBIO CLIMÁTICO Y AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

Desde hace más de 50 años, se está observando que el planeta es afectado por el aumento de CO₂ en la atmósfera causando un calentamiento en la temperatura global, afectando el clima, conocido como el cambio climático. Este calentamiento, reportado desde la década de 1950 consiste en el aumento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C, durante el periodo 1880-2012 (Wong et al, 2014). Por otro lado, el cambio climático es entendido como la alteración que sufren los diferentes sistemas naturales que componen la Tierra, tanto a escala regional como global, debido principalmente (95 por ciento) al modelo de desarrollo económico e industrial vigente (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2013), los cuales emiten gases de efecto invernadero en cantidades que modifican el medio ambiente. Este fenómeno ha llamado la atención de entidades como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés), que es un organismo científico e intergubernamental conformado por 195 países miembros de la Naciones Unidas y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Pero, a pesar de existir acuerdos internacionales para disminuir las emisiones globales, inversiones en energías renovables, mecanismos de desarrollo limpio e incentivos como los bonos de carbono, los niveles de contaminación siguen aumento y generan nuevos impactos en sistemas ambientales clave de la tierra.

El calentamiento y el cambio climático de los sistemas naturales globales generan una serie de impactos secundarios, que se evidencian en el derretimiento de las capas polares y glaciares montañosos, detectados desde mediados del siglo XX, entre otros. Este proceso gradual de deglaciación aporta agua dulce a los mares generando, junto con la expansión térmica de los océanos, un aumento en el nivel del mar. En el Quinto informe de evaluación del IPCC, se menciona: “En todo el mundo, la tasa de la elevación del nivel del mar desde la década de 1850 ha sido mayor que la tasa promedio en los 2.000 años anteriores (nivel de confianza alto). En gran parte del siglo XX se registró una tasa de elevación del nivel del mar de 1,3 a 1,7 milímetros (mm) al año, con un incremento de 2,8 a 3,6 mm por año desde 1993” (Wong et al, 2014). Este incremento trae consigo problemas en otros sistemas ambientales, como un aumento en la velocidad de la dinámica y variabilidad costera, la intrusión de agua salada en acuíferos y franja litoral y el aumento de la erosión costera, con la consecuente pérdida de recursos naturales, territorio y una mayor vulnerabilidad de la población residente en las zonas costeras.

Entre estos problemas, el más importante es el aumento de la erosión espacial costera a nivel mundial, regional y local, debido a que su incremento afecta no solo la masa

territorial, con un cambio en la línea de costa en dos años diferentes en forma de erosión parcial, generalizada o zonas de sedimentación, sino también a los núcleos urbanos y asentamientos localizados en las franjas litorales y cerca de desembocaduras de ríos o cuerpos de agua, los cuales albergan vidas humanas, infraestructura e inversiones económicas y dependiendo de su grado de exposición y resiliencia a los peligros, se genera una vulnerabilidad hacia esa población y además de otros recursos naturales que se encuentran en peligro. A escala global, el 70% de las playas arenosas están sometidas a procesos de erosión, (Bird, 1985). Según Zhang et al., (2004), estos procesos de erosión se deben a la elevación del nivel del mar, a la mayor frecuencia de tormentas o eventos extremos como el evento del Niño y las modificaciones y estructuras construidas en la costa por el ser humano, por ello, la erosión costera y las inundaciones son una amenaza para el desarrollo y bienestar de la región litoral (Boateng, 2012). En la costa peruana, diversos estudios han identificado la erosión de playas (p.e. Leceta, 2009; Grández, 2010; Tavares & Drenkhan, 2010; Rondón, 2011, entre otros). Entre las principales de la erosión se identifica la construcción de estructuras costeras y la reducción del aporte de sedimentos de los ríos hacia la costa (Tavares & Drenkhan, 2010). Aunque en la actualidad no haya evidencias de que la erosión se deba al aumento del nivel de mar, es muy probable que gane relevancia en las próximas décadas.

Es decir, el análisis, la evaluación y la susceptibilidad de las costas al aumento de la erosión costera es un análisis complejo, que se puede realizar con diferentes escalas de trabajo mediante la identificación y mapeo de áreas sensibles o vulnerables a procesos erosivos, sedimentarios y de inundación. Este tipo de investigación requiere el uso de variables físicas, como la geomorfología, pendiente de playa, acción de las olas, tasa de sedimentación, tasas de erosión, entre otros datos.

Para encarar esta problemática, se cuenta ahora con la tecnología y teledetección satelital, las mediciones en campo del aumento del nivel del mar, el análisis espacial y diversos métodos para determinar zonas vulnerables a la erosión costera e identificar su grado de intensidad, con la finalidad de priorizar la actuación. Entre esos métodos se encuentran los análisis de variabilidad costera y los índices de vulnerabilidad costera física y físico-social (IVC). Estas técnicas han sido propuestas, modificadas y aplicadas por investigadores de carácter mundial como Gornitz et al (1991 y 1994), Diez et al. (2007), Pendleton et al (2004), Thieler & Hammer-Klose (1999 y 2000), Thieler et al. (2009) Zhang et al (2004), entre otros. El IVC utiliza un único valor derivado de una serie de variables físicas y socioeconómicas con diferentes pesos (Boruff et al, 2005) o mediante otras fórmulas que no utilizan pesos diferenciales, sino iguales. El análisis del

índice de vulnerabilidad costera contribuye a alcanzar el uso sustentable de los recursos costeros porque permite identificar los sectores más vulnerables a la sedimentación y erosión e incorpora valores costeros y amenazas en el planeamiento y la toma de decisiones para el manejo integral costero.

Por otro lado, la vulnerabilidad de las diferentes áreas de la zona de estudio analizada mediante el índice de vulnerabilidad costera ofrece información cuantitativa sobre los procesos de la dinámica litoral y las variables socioeconómicas. La información resultante identifica los grados de vulnerabilidad de los sectores de la zona de estudio, con lo cual se puede señalar los principales sectores más amenazados o impactados por la interacción de las variables físicas y socioeconómicas. De esta manera, no solo se identifican los sectores más afectados, sino también el conjunto de variables que pueden ocasionar más impactos o variaciones y, que en combinación o inclusive solas, son más propensas a generar áreas vulnerables a la erosión costera. Es mediante esta información que se pueden generar lineamientos de priorización de zonas vulnerables a la erosión costera, con la finalidad de proteger las vidas humanas, la infraestructura presente y futura, y las inversiones.

En el Perú, el análisis de variabilidad costera, así como el análisis de la vulnerabilidad costera mediante el IVC se ha implementado en algunos sectores de nuestro litoral, como Asia (Aguilar, 2015), Cañete (Ramírez-Gastón, 2017), Pucusana (Tejada, 2017), Paita (Rondón, 2011), entre otros, donde cada investigación cuenta con sus propias variables y aplicación de la ecuación del IVC. La aplicación del IVC como instrumento de gestión que prioriza las zonas costeras vulnerables a la erosión costera es pertinente, pues posibilita proteger vidas humanas, la infraestructura existente y futuras inversiones. Además, el impacto de la erosión en la costa peruana es poco conocido debido a la falta de estudios físicos que expliquen la dinámica real del litoral, sus agentes y sus consecuencias tanto directas como indirectas (Rondón 2011).

Los sectores costeros, en los cuales se asienta más del 55 % de la población nacional (IMARPE, 2010) tienen problemas de planificación urbana, diferencias en el uso del suelo y contaminación ambiental, que generan cambios en las dinámicas litorales y aumentan el riesgo de las poblaciones asentadas en la franja litoral. A ello se suma el proceso de urbanización y lotización descontrolado, y la falta de lineamientos y modelos de gestión de la zona litoral por parte de las autoridades de la zona en cuestión.

Un ejemplo claro de zonas que necesitan un análisis de vulnerabilidad es el sector turístico costero comprendido por los balnearios de Máncora, Los Órganos y Punta Sal, en los departamentos de Piura y Tumbes. Por su geografía de baja altura y con un clima

y aguas de sabana tropical, del tipo árido, semicálido y con humedad relativa, esta zona es un destino turístico nacional e internacional con importantes inversiones en infraestructura comercial, residencias y alta lotización. No obstante, los síntomas de la erosión costera se encuentran presentes, pero no existe información cuantitativa sobre este proceso, debido al gran número de variables que pueden influenciar la construcción de los riesgos de una población (Aguilar, 2015) y en este caso, debido a una expansión urbana descontrolada, la falta de planificación y los impactos de la erosión costera, la infraestructura está expuesta de manera constante a la acción erosiva del mar, lo que genera pérdidas económicas y consiguiente vulnerabilidad de la población ante los riesgos de desastres. Por ello esta investigación se plantea el siguiente problema concreto.

I. Planteamiento del Problema

En base a las proyecciones del aumento del nivel del mar hacia el año 2100 entre 0.44 y 0.74 metros (Wong et al, 2014), este se considera una amenaza a la estabilidad de la línea de costa de los balnearios de Los Órganos, Máncora y Punta Sal, debido al aumento de las tasas de erosión en las playas mencionadas. Por consiguiente, la vulnerabilidad de la población que ocupa estas playas de la franja litoral también aumentará y es por ese motivo que se considera necesario realizar una evaluación adecuada y pertinente de la vulnerabilidad costera frente al aumento del nivel del mar y a la erosión marina de la zona estudiada, que sirva como referencia para la toma de decisiones en materia de gestión territorial y de la zona marino-costera. Para ello, se realizaron las siguientes preguntas y objetivos de esta investigación.

II. Preguntas de investigación

Este problema motiva las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuál es la variabilidad de la línea costera en el área de estudio? ¿Cuáles son los sectores más o menos vulnerables a la erosión costera dentro del área estudiada?
- ¿Qué variables físicas y socioeconómicas se deben tener en cuenta para caracterizar y estudiar la vulnerabilidad costera en la zona de estudio? ¿Cuál es el impacto y aporte de las variables seleccionadas a la vulnerabilidad costera?
- ¿El método del Índice de Vulnerabilidad Costero mediante el uso de SIG, permite identificar zonas prioritarias de protección costera? ¿Qué limitaciones presenta?

III. Objetivos de la investigación

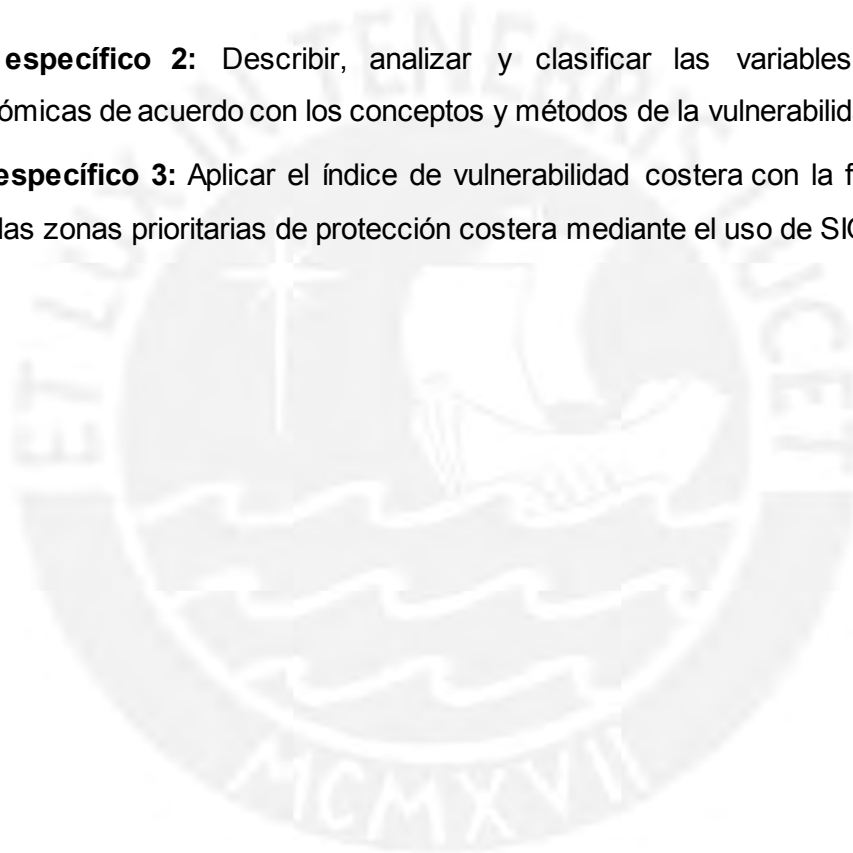
De acuerdo con lo planteado, los objetivos de esta tesis son:

Objetivo general: Identificar los sectores más vulnerables a la erosión costera de Los Órganos, Máncora y Punta Sal, mediante la aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), cuyo resultado sirva como referencia para la toma de decisiones con la finalidad de reducir la vulnerabilidad, proteger la infraestructura existente, las inversiones futuras y las vidas humanas.

Objetivo específico 1: Caracterizar geomorfológica y socioeconómicamente la zona de estudio para identificar posibles variables que se analizan en el índice de vulnerabilidad costera.

Objetivo específico 2: Describir, analizar y clasificar las variables físicas y socioeconómicas de acuerdo con los conceptos y métodos de la vulnerabilidad costera.

Objetivo específico 3: Aplicar el índice de vulnerabilidad costera con la finalidad de identificar las zonas prioritarias de protección costera mediante el uso de SIG.



2. MARCO TEÓRICO SOBRE LAS DINÁMICAS COSTERAS

En el presente capítulo se desarrollan las teorías que enmarcan los objetivos de la presente investigación. Se abordan los conceptos técnicos de mayor importancia, que son necesarios para explicar y definir de manera correcta estas teorías, debido a que su complejidad y múltiples interpretaciones pueden generar errores de interpretación.

2.1. Conceptos básicos

La terminología empleada en los estudios costeros en general, todavía se presta a una serie de ambigüedades debido a la falta de consenso en esta materia. En este sentido, y para evitar confusiones, se trata de aclarar el significado de los términos empleados a lo largo de este documento.

Según Novoa (2007), el litoral es el área en el cual se desarrollan múltiples interferencias por el contacto de la tierra con el mar en el presente y el pasado. Esto puede entenderse como el espacio afectado por el mar a lo largo del tiempo, tanto por debajo como por encima de este, lo que produce una zona de transición entre el ámbito marino y el terrestre (Nonn, 1987, citado por Aguilar, 2015). Gornitz (1991) define a la zona litoral como las características de cualquier línea costera, que son el resultado de las interacciones entre su litología, la forma del relieve, el clima, las olas, las corrientes costeras y la frecuencia de las tormentas. Además, agrega que las diferentes magnitudes de estas variables cambian de lugar a lugar, lo que induce una respuesta variable y no uniforme de la zona costera.

Por otra parte, se entiende por costa como el área ubicada por encima y por debajo del nivel del mar, que se halla sometida a la acción de las fuerzas responsables de su trazado (Novoa 2007). También se ha definido como el "espacio que está en constante transformación generando procesos de erosión y sedimentación por las corrientes marinas, las mareas, las variaciones del nivel del mar, entre otros" (Strahler 1999). Sin embargo, dada la confusión entre cuál de ambos conceptos tienen su dominio por encima o por debajo del nivel del mar, Bird (1985) sugiere a que el término litoral se refiera a la franja ubicada por debajo del nivel mar, mientras que la franja emergida, que está por encima del nivel del mar, sea el dominio de la costa. Ciertamente, el contacto entre ambas franjas no es estático, sino varía con la oscilación de la marea.

Por otra parte, tanto la costa como el litoral son conceptos comprendidos en una unidad mayor, establecida con fines de gestión, que es la zona marino-costera. También denominada zona costera, ésta unidad ha sido tradicionalmente definida como un espacio que se encuentra en

constante transformación con procesos de erosión y sedimentación por las corrientes marinas, las mareas y las variaciones del nivel del mar, entre otros (Strahler, 1999). Sin embargo, en la actualidad se define como la franja continental y marítima, cuyo ancho varía de acuerdo con la configuración del entorno y las necesidades de ordenación (Novoa 2007). Es decir, es el territorio costero en donde el ser humano se desarrolla y cuya configuración geomorfológica depende de la geología y los procesos y dinámicas costeros. Las zonas marino-costeras son heterogéneas en su desarrollo y distribución, debido a la interacción de factores como la geología, la geomorfología, el clima (actual y pasado), las mareas y corrientes, la isostasia, la actividad tectónica, los procesos erosivos y la acción humana, entre otros. La gran cantidad de factores que influyen en la zona marino-costera propicia un gran número de clasificaciones; según Aguilar (2015), existen clasificaciones generales que se aplican en todo el mundo, pero carecen de especificidad, y otras son demasiado específicas y no llegan a cubrir toda la zona costera, por lo que se debe estudiar con detenimiento la selección de la clasificación adecuada.

Para la presente investigación, se utilizó la clasificación de Inman y Nordstrom (1971) provisto por Viles y Spencer (1995) que se presenta en la Tabla 1:

Tabla 1. Escalas de clasificación costera. Fuente: Viles y Spencer (1995).

Orden	Controles	Resultados
Primero	Placas tectónicas	Plano costero y plataforma continental
Segundo	Erosión y deposición que modifica las características del primer orden	Deltas, estuarios y dunas
Tercero	Acción de las olas y tamaño del sedimento	Playas, corrientes a lo largo y en paralelo a la costa, barras, marismas

En el primer orden, se propone una clasificación general basada en la tectónica de placas. El segundo orden describe la morfología. El tercer orden depende de procesos que suceden en la actualidad, como las olas y el tamaño del sedimento.

Estos procesos originan la denominada línea de costa, la cual su definición varía según la unidad geomorfológica que esté en contacto con la línea de alta marea. Es decir, la línea de costa de una playa es considerada la zona de contacto entre la tierra y la línea de alta marea. En el caso de los acantilados, se mide desde la base de estos, con respecto a la línea de alta marea. Según

Pinet (2006) la línea de costa es la zona de contacto entre el mar y la tierra seca (arena), que puede observarse claramente debido a la coloración de la arena mojada, diferente de la arena seca. Se caracteriza por representar la interacción entre la rompiente de las olas, el aumento o descenso de las mareas, la descarga de sedimentos proveniente de los ríos, el ascenso o descenso de los continentes y la actividad del ser humano (Carter, 1988). Cabe mencionar, para una adecuada observación, que la línea de costa nunca se encuentra sumergida. En este trabajo, se utilizaron líneas de costa de un momento específico, por lo que su posición se refiere a un momento específico y este puede no ser un reflejo de las condiciones normales de la zona estudiada (Boak y Turner, 2005 citado por Aguilar, 2015). Esta línea de costa, a diferencia de una fotografía, es dinámica, debido a los procesos de la geodinámica costera, generando una variación en la línea de costa. La variación de la línea de costa se define como el cambio que se da entre el contacto del mar con la tierra, condicionada por factores como el volumen de las cuencas oceánicas, la variación del volumen de agua en los océanos y la variación en el geoide (cambios en el relieve o forma de la corteza) sumado a los factores oceanográficos y meteorológicos locales (Pinet, 2006; Rondón, 2011). Este concepto es complejo por su dinamismo y el desconocimiento de un límite, por lo que se considera de mucha importancia tomar en cuenta la escala temporal del estudio. De la misma manera, para entender esta variación, se debe entender el concepto de célula litoral, puesto que es la unidad principal del sistema en el que se desarrolla la erosión, el transporte, la pérdida y deposición de sedimentos en la playa, lo que afecta la línea de costa. Para el análisis de la variabilidad de la línea costera se tomaron en cuenta los indicadores mencionados por Boak y Turner (2005 citados por Aguilar 2015), el primero basado en puntos referenciales de la costa fácilmente reconocibles, en este caso el límite entre la arena seca y la arena mojada; el segundo indicador es la posición de la línea de costa basada en la posición de la marea, medida por la intersección entre una elevación específica del mar y el perfil de la costa.

La célula litoral es una unidad que existe como un sistema independiente dentro de la línea litoral, en el cual casi no existe transporte de sedimentos entre diferentes células. De acuerdo a Patsch y Griggs (2007), en la mayoría de los casos el sedimento proviene de una sección en donde el suministro es mínimo o restringido, como los acantilados. Son estos lugares lo que son más propensos a ser afectados por los agentes erosivos como el viento y las olas para luego ingresar dentro del sistema. Una vez dentro, los sedimentos son transportados a lo largo de la célula litoral a través de la corriente longitudinal, para finalmente ser depositado en una zona dentro del sistema. El sedimento sale del sistema a través de un cañón submarino, sistema de dunas o bahías o puede ser extraído como materia prima por el ser humano. En este sistema existe un

balance de sedimentos, conocido como balance de célula litoral, este explica la conservación del volumen de sedimentos dentro del sistema, considerando la cantidad de sedimentos que entran, salen o se mantienen en el sistema. Patsch y Griggs (2007) determinan que los cambios en el volumen total de los sedimentos generan impactos en el balance, ya sea acelerando o amplificando los procesos de erosión, transporte y deposición. Se puede ver los detalles en la Figura 1.

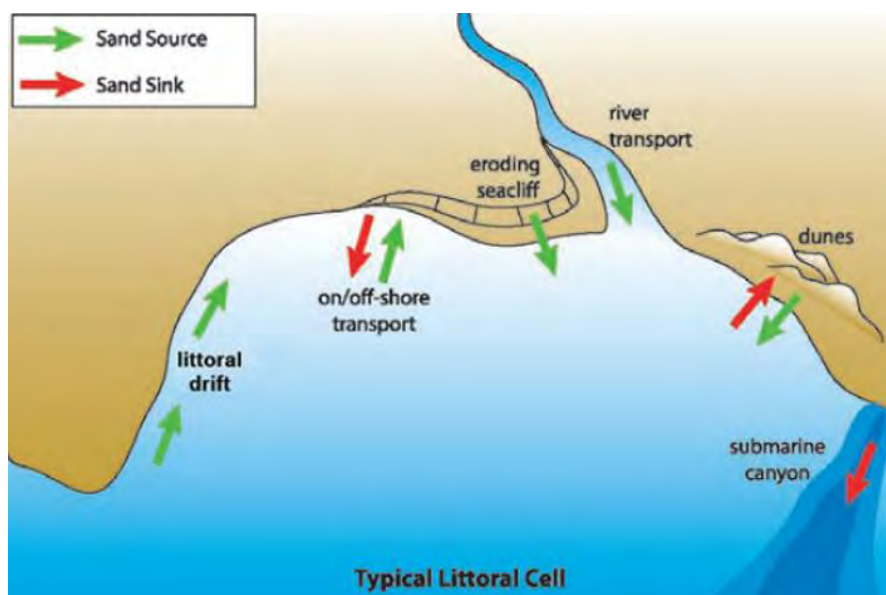


Figura 1. Esquema de una célula litoral. Fuente: Patsch y Griggs (2007).

El balance del sistema de la célula litoral se ve reflejado en el movimiento o variación de la línea de costa, por lo que las alteraciones dentro de este sistema, como una reducción en el volumen de sedimentos, generan el angostamiento de la playa, erosión y el retroceso de la línea costera. De manera contraria, el aumento de los sedimentos produce el ensanchamiento de las playas, debido al aumento de material depositado, lo que se refleja en el avance de la línea litoral. Asimismo, si existe un balance entre las fuentes y sumideros de la playa, se desarrollará una playa estable, sin variación en la línea de costa. De acuerdo con Patsch y Griggs (2007), este balance también se ve influenciado por procesos naturales como la variación de la dinámica de las olas respecto a su intensidad y frecuencia y el incremento del nivel del mar por razones globales, regionales o locales o las mareas. Por otro lado, las playas son el conjunto o acumulación de sedimentos no consolidados (como arenas, gravas y piedras) que se encuentran en la costa (Pinet, 2006) resultado de los procesos erosivos antes mencionados. Según Clark, (1977), las playas son zonas de depósitos materiales sueltos, como arenas, gravas y guijarros, e incluye escarpes, bermas y dunas, tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o

del viento marino y otras causas naturales o artificiales (Suárez 2005). En concordancia, según Leceta (2009) en Rondón (2011) las playas son acumulaciones de sedimentos no consolidados, que han sido transportados a la costa, estos han sido modelados en su forma característica gracias a la acción de las corrientes generadas por las olas. Se presentan en regiones costeras donde hay disponibilidad de sedimentos, condiciones de relieve favorable y que presentan variaciones del nivel del mar.

Se puede caracterizar la morfología de la playa mediante un corte transversal, que comprende el área inmersa desde la plataforma continental y se extiende hasta la parte emergida, delimitada por cuatro unidades fisiográficas: la playa exterior, la playa interior, la playa anterior y la playa posterior (Figura 2). La playa exterior abarca desde el borde de la plataforma continental hasta la zona de rompiente. La playa interior se ubica entre la zona de rompiente y la línea de bajamar; en el interior de esta unidad se identifican la zona de surf –área entre la zona de rompiente y la zona de rebalaje,– y la zona de rompiente de las ondas (Pinet, 2006). La playa anterior es la situada entre la bajamar y la pleamar y se le llama comúnmente la cara de la playa y dentro de ella se encuentra la zona de rebalaje (Swash), caracterizada por el flujo de ondas de ascenso y descenso (Swash y backwash) sobre la cara de playa (Pinet 2006). Por último, la playa posterior se inicia a partir de la berma, la cual tiene una forma similar a una terraza inclinada suavemente hacia el interior (Aguilar, 2015); según otras definiciones, la playa posterior se extiende a partir del nivel máximo de acción de olas y mareas, donde hay un cambio de pendiente hacia una superficie más plana (berma) (Leceta 2009).

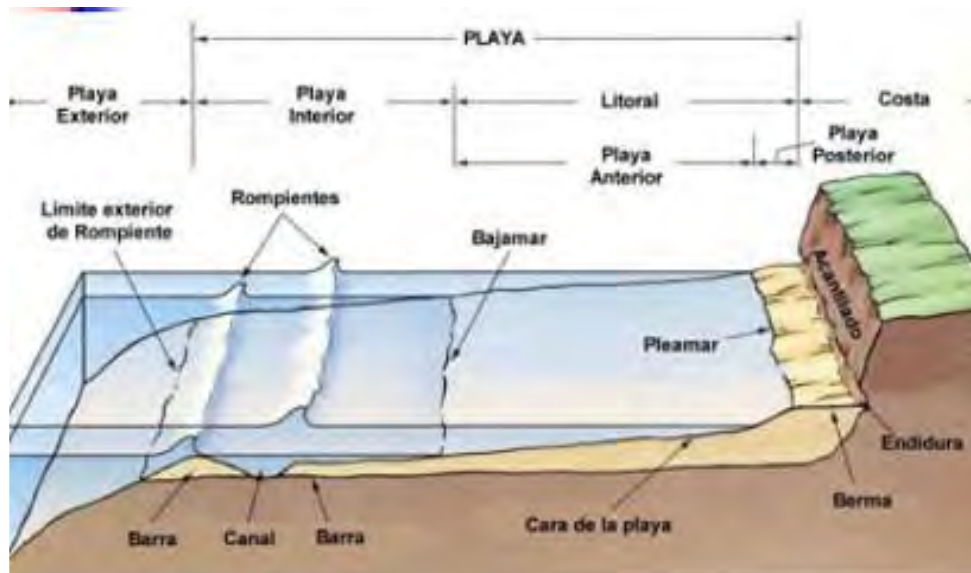


Figura 2. Unidades fisiográficas de la playa. Fuente: Rondón (2011).

Por otro lado, Wright y Short (1983) presentan una clasificación morfodinámica de las playas, que incluye a las playas disipativas, intermedias y reflectivas. Cada una de estas categorías está influenciada por factores como el clima de olas o las condiciones ambientales, las dinámicas costeras, el tamaño de las partículas del sedimento, los procesos erosivos presentes en la playa y la variabilidad temporal y espacial de la playa (Aguilar, 2015). La confluencia de estos factores genera diferentes tipos de playas, en las cuales priman procesos de sedimentación, erosión y transporte de sedimentos. Las playas disipativas se caracterizan por la presencia de sedimentos finos, olas en derrame, son playas estables, siempre y cuando se mantengan las condiciones normales. En la mayoría de este tipo de playas se puede encontrar una pendiente suave, que da lugar a una playa interior amplia que en ocasiones tiene barras paralelas a la línea de costa; su dinámica consiste en olas que rompen en la zona de rompiente y se disipan sobre la playa anterior. En cambio, las playas intermedias se encuentran en un estadio de transición entre las playas disipativas y las reflectivas. El tamaño del sedimento es de tipo medio, lo cual se ve reflejado y localizado en forma de barras paralelas a la franja litoral que son transportadas por el movimiento de las olas, que tienen una energía variable y generan el movimiento de la barra a lo ancho de la playa. En los momentos de mayor energía, la barra se encuentra en la zona de surf, mientras que en momentos de baja energía la barra se encuentra expuesta en la zona de bajamar. Las playas intermedias se subdividen en cuatro tipos: barra y canal longitudinal, barra y playa rítmica, barra transversa y corriente de retorno y sistema barra-canal (Aguilar, 2015). Finalmente, las playas reflectivas están compuestas por sedimentos más gruesos que los tipos anteriores, producidas por olas de baja energía que rompen principalmente en forma de ondula

o colapso y generan bermas de playa elevadas con alta pendiente. Son las playas más inestables y producen una erosión importante si hay un aumento en la altura de la ola (Aguilar, 2015).

2.1. Teorías

2.1.1. Perfil de equilibrio

La teoría del perfil de equilibrio se refiere a los procesos de erosión y deposición en la zona costera. Según Dean et al. (2013), esta teoría busca explicar el funcionamiento de los perfiles de las playas a través de las fuerzas constructivas (shoreward acting) y las fuerzas destructivas (seaward acting) que actúan sobre las partículas de sedimento encontradas en el agua. Las fuerzas destructivas pueden ser de dos tipos; la primera y la más importante es la gravedad, la cual en conjunto con la turbulencia generada por las olas, facilita el transporte de sedimento dirigido por las fuerzas destructivas, es decir, genera que el agua regrese al mar junto con el arrastre de sedimentos de manera perpendicular a la costa. La segunda es la turbulencia del mar en la zona de disipación de las olas y ambas fuerzas actúan sobre las partículas de sedimento y generan el transporte hacia la playa exterior. Según Aguilar (2015), la fuerza de la turbulencia se relaciona con los tipos de perfiles de playas; aquellos con pendiente suave se caracterizan por tener bajos niveles de turbulencia, debido a que el rompimiento y energía liberada de las olas se distribuye por una amplia zona de disipación. Por otro lado, aquellos perfiles con pendiente alta tienen mayores niveles de turbulencia, debido a que la energía de las olas tiene una zona mucho menor para disipar su carga.

Las fuerzas constructivas a pesar de no ser tan obvias existen, ya que si no fuera así no existirían perfiles de playa con pendientes empinadas hacia la bahía. Las fuerzas constructivas tienen su efecto en el movimiento y deposición de las partículas, y dependen de la fuerza y velocidad de la ola (Dean et al., 2015). Entre estas fuerzas se encuentran la corriente cercana al suelo y la suspensión intermitente de los sedimentos, que permite el transporte y deposición de sedimentos que se encuentran dentro de la cresta de la ola. Dependiendo del tiempo de deposición del sedimento, el transporte puede ser a la pleamar o a la playa exterior. Estas fuerzas se encuentran en estado de equilibrio dentro de los diferentes niveles debajo del agua, los cuales si tienen una perturbación se reflejará en el perfil de la playa.

Por ello, el perfil de equilibrio se considera el promedio de los perfiles generados a lo largo de un determinado tiempo en condiciones normales de olas y mareas. La base de esta teoría radica en que existe un equilibrio en los niveles de agua y olas, en el cual cualquier perturbación, como el

ANM o cambios en las tormentas u otros pueden quebrar este equilibrio y generar cambios en el perfil cercano a la playa. Además, si existe un exceso de sedimentos en el perfil, ocurrirá un transporte tierra adentro para reestablecer el equilibrio del perfil, en caso contrario, si existe un déficit de sedimentos, ocurrirá un transporte mar adentro. La Figura 3 grafica lo mencionado anteriormente.



Figura 3. Perfil de equilibrio. Fuente: Dean et al. (2013).

2.1.2. Variación del nivel del mar

La variación del nivel del mar se ha dado en múltiples ocasiones en la tierra, debido a los ciclos solares y cambios climáticos, la tectónica de placas y movimientos verticales de la corteza terrestres, la variación de cuencas oceanográficas y las actividades humanas (Wong et al., 2014). En la época actual se registra un incremento en la temperatura media mundial, proveniente de un calentamiento global, hecho derivado, del incremento de CO₂ encontrado en la atmosfera debido a la emisión de gases de efecto invernadero. La concentración de estos gases genera un aumento en la cantidad de energía solar retenida en la atmosfera, generando un incremento de temperatura en la tierra y mar. Este incremento afecta la temperatura del mar, generando a su vez una expansión térmica dentro del mar, y un aumento en el volumen del agua. A su vez a este incremento, llamado aumento del nivel del mar (ANM) se le agregan los volúmenes de agua provenientes de los glaciares de montaña, los mantos de hielo (ej. Groenlandia) y de las capas polares (ej. Antártida), que en conjunto con los otros aportes, generan nuevas consecuencias en la línea litoral, como la erosión de las costas y acantilados, inundaciones e infiltración de agua salada, siendo un grave problema para las áreas de baja altitud y pendiente como los Países bajos, debido a la posibilidad de contaminación y pérdida de acuíferos y zonas agrícolas. Además, se deben considerar las variaciones regionales del nivel del mar, los patrones de circulación de los océanos y la variabilidad interanual y decenal, movimiento tectónico y el rebote de isostasia glacial (Wong et al., 2014).

De acuerdo con Wong et al. (2014), es muy probable que la altura promedio global del nivel del mar haya crecido a un tasa promedio de 1.7 (1.5 a 1.9) mm al año entre 1900 al 2010, y a una tasa de 3.2 (2.8 a 3.6) mm al año, entre 1993 y el 2010. Esta se debe principalmente al aumento del volumen de agua en el océano, debido a la expansión térmica de la capa superior del mar y al derretimiento de glaciares. A su vez, esta entidad proyecta una tasa de aumento relativo global del nivel del mar que sobrepasa el 2.0 mm al año. Nuevamente, esta predicción es considerada una tasa global, pero deben considerarse los factores regionales y locales, ya que el ANM no es uniforme. El primer factor responde a los procesos dinámicos del océano y el clima, como los modos naturales en la variabilidad del clima de la región, estos son los cambios en los vientos, presión del aire, calor entre agua y aire, entre otros, un ejemplo es el caso de el niño oscilación sur (ENSO por sus siglas en ingles), en donde se genera una variación de 40 cm con la media global, (Wong et al., 2014). Por otro lado, la variabilidad local, ocurre debido a subsidencia o levantamiento de planos costales, la compactación y almacenamiento de sedimento, como es el caso de deltas, movimientos tectónicos en las zonas costeras con placas con márgenes activos (Wong et al., 2014) o incluso por causas antrópicas, como sedimento consolidado proveniente de construcción, poco aporte de sedimento a las costas debido a la construcción de represas e hidroeléctricas y extracción de recursos sub-superficiales, como el petróleo, gas y agua. Las consecuencias de este aumento y sus efectos sobre los perfiles de equilibrio de las playas han sido descritos por Brunn en 1962.

2.1.3. Regla de Brunn

La regla de Brunn (1962) describe un modelo basado en el perfil de equilibrio de tres etapas diferentes del ajuste del perfil de una playa, debido a la acción de la dinámica del litoral. La línea de costa se adapta a una elevación en el nivel del mar, mediante la migración del perfil de equilibrio hacia el continente, con una tasa proporcional a la elevación del mar (Tavares y Drenkham, 2010). Esta relación entre el incremento del nivel del mar y el retroceso de la línea costera ha sido expresado en la siguiente ecuación.

$$R = S \frac{W}{h + B}$$

Ecuación 1. Regla de Brunn. Fuente: Brunn (1962)

En donde:

S = Incremento del nivel del mar

R = Retroceso de la línea de costa

W = Ancho de perfil de playa

H = Profundidad del perfil de playa

B = Altura de Berma de playa

La primera etapa del perfil de equilibrio se inicia con un desplazamiento hacia la costa con una distancia de R, que da un volumen de sedimento positivo ($V+$). En la segunda etapa, se considera el aumento del nivel del mar (S), el cual implica un vacío en los sedimentos que eleva el perfil costero ($V-$) (Aguilar, 2015). En la etapa final, se igualan los resultados de $V+$ y $V-$ para obtener la elevación y movimiento hacia la costa del perfil de playa. A pesar de este retroceso, no hay pérdida del volumen total de arena del perfil, la arena es desplazada de la zona superior a la zona inferior del perfil. Las etapas se ven en la Figura 4:

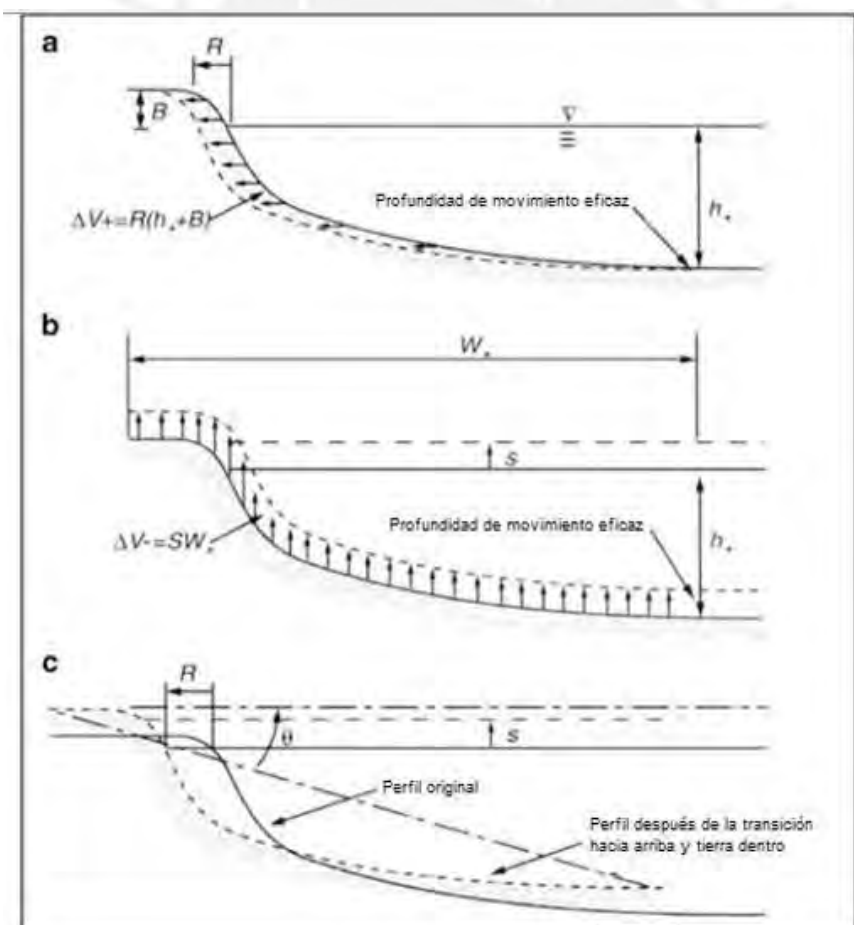


Figura 4. Etapas de la regla de Brunn. Fuente: Aguilar (2015).

2.1.4. Análisis granulométrico de sedimentos

El tamaño, forma y disposición de las partículas son propiedades importantes, pero no las únicas, dentro del concepto de textura sedimentaria de rocas clásticas. Debido a que permiten caracterizar a los individuos que componen los sedimentos como también para clasificar estos sedimentos e interpretar los procesos de acumulación (Folk y Ward, 1957), estos datos, métodos y modelos son esenciales debido a que permiten caracterizar las muestras de sedimento y poder hacer un acercamiento a la dinámica de litoral de la zona de estudio.

El tamaño de las partículas, si es que fueran esferas, podría ser definida por su diámetro, pero debido a los procesos de meteorización, erosión, transporte, entre otros, las partículas son irregulares y por lo tanto definidas como elipsoides. Por ello, para la medición de su tamaño se emplea el diámetro nominal, el cual se obtiene del diámetro medio geométrico y diámetro medio aritmético (conocido como método directo) y/o mediante la estadística, utilizado para el muestreo de pocos gramos de arena, limo o arcilla (método indirecto).

Por otro lado, la distribución de la heterogeneidad textural (distribución de los tamaños) es medida el modelo lognormal (Folk y Ward, 1957 y Boggs, 2009). Los análisis granulométricos se encuentran en una escala granulométrica compuesta por el sistema Udden – Wentworth de 1922 (Boggs, 2009), en donde se agrupa un amplio espectro de tamaños de partículas (en milímetros y su equivalente en medida phi) en un rango reducido de clases texturales, con la finalidad de facilitar el manejo de esta información. La Figura 5 presenta a continuación la escala mencionada.

	US Standard sieve mesh	Millimeters	Phi (ϕ) units	Wentworth size class	
GRAVEL		4096	-12		
		1024	-10	Boulder	
		256	-8		
		64	-6	Cobble	
		16	-4		
	5	4	-2	Pebble	
	6	3.36	-1.75		
	7	2.83	-1.5	Granule	
	8	2.38	-1.25		
	10	2.00	-1.0		
SAND	12	1.68	-0.75		
	14	1.41	-0.5	Very coarse sand	
	16	1.19	-0.25		
	18	1.00	0.0		
	20	0.84	0.25		
	25	0.71	0.5	Coarse sand	
	30	0.59	0.75		
	35	0.50	1.0		
	40	0.42	1.25		
	45	0.35	1.5	Medium sand	
	50	0.30	1.75		
	60	0.25	2.0		
	70	0.210	2.25		
	80	0.177	2.5	Fine sand	
	100	0.149	2.75		
	120	0.125	3.0		
	140	0.105	3.25		
	170	0.088	3.5	Very fine sand	
	200	0.074	3.75		
	MUD	SILT	230	0.0625	4.0
270			0.053	4.25	
325			0.044	4.5	Coarse silt
			0.037	4.75	
			0.031	5.0	
CLAY			0.0156	6.0	Medium silt
			0.0078	7.0	Fine silt
			0.0039	8.0	Very fine silt
			0.0020	9.0	
			0.00098	10.0	Clay
	0.00049	11.0			
	0.00024	12.0			
	0.00012	13.0			
	0.00006	14.0			

Figura 5. Escala Udden – Wentworth. Fuente: *Petrology of Sedimentary Rocks*. (Boggs, 2009).

2.1.5. Procesos geodinámicos costeros

Los procesos geodinámicos costeros son aquellos que intervienen en el modelado del litoral y ocurren por acción de las olas, mareas, vientos y corrientes que se desplazan de manera paralela y perpendicular a la costa. Estas dinámicas producen el arranque (erosión o remoción), transporte y sedimentación (deposición) del material que se encuentra a lo largo de la costa.

De acuerdo con Gutierrez (2001), las olas representan la principal fuente de energía de las costas y se entienden como ondulaciones sobre la superficie del agua, producidas en su mayoría por acción del viento (Olas de viento). Las olas pueden trasladarse de la zona de tormenta, llegando a alcanzar en el océano hasta 20 m de altura y recorrer 500 km a una velocidad aproximada de 80 km/hora, conocidas como olas de fondo (Swell), y al aproximarse a la costa, alcanzan una altura e inclinación mayor hasta romper, generando rompientes. A manera transversal, se caracterizan por los movimientos orbitales que decrecen en tamaño y fuerza desde la superficie del agua al fondo. A una profundidad de aproximadamente la mitad de la longitud de la ola, el movimiento es muy débil y cuando es inexistente se le denomina la base de la ola. La altura de la ola es la diferencia en la elevación entre la cresta y el valle, proporcional a la velocidad del viento, el periodo, es el tiempo que toma una ola en recorrer una distancia igual a longitud de onda.

Al acercarse a la costa, la profundidad del fondo varía y decrece, generando un cambio en la trayectoria de la ola, conocida como refracción de las olas (Gutierrez, 2001). Las trayectorias ortogonales convergen sobre los promontorios de playa, provocando un incremento en la altura de la ola y una concentración de energía, en el caso de las bahías, las ortogonales divergen, produciendo una dispersión de la energía. Es decir, en caso de que haya una dirección determinada de las olas con relación a la playa, el transporte de sedimentos será influenciado por esa dirección, si la ola se acerca a la playa con una dirección oblicua, también lo harán los sedimentos; de la misma manera, si la ola se acerca en cualquier dirección, también lo harán los sedimentos transportados. Por el contrario, la corriente de retorno siempre es perpendicular a la playa, debido a la gravedad, lo que da lugar a la deriva litoral, un movimiento en zigzag y corriente paralela a lo largo de la costa

La caída de agua en las rompientes produce la mayor erosión en el fondo del mar, y estas pueden ser de cuatro tipos (Gutierrez, 2001): en derrame (spilling), desarrolladas en agua poco profundas; en voluta (plunging), características de fondos profundos; en ondulas (surging) en playas más profundas; y en colapso (colapsing), intermedias entre ondulas y en voluta. Estos tipos de rompientes se relacionan con la pendiente de la playa y la profundidad relativa del agua.

Por lo tanto, la erosión costera es el desgaste y pérdida de material costero por la acción del oleaje; de la misma manera, se entiende a las playas como un sistema integrada de una entrada y salida de sedimentos. Este sistema se ve altamente influenciado por dos tipos de olas; las destructivas y las constructivas. Las olas destructivas, de alta frecuencia, fuerte reflujos y débil descenso causan alta remoción del sedimento e impide su sedimentación, lo que aumenta la cantidad de salida de sedimentos en la playa. En tanto que las olas constructivas, de baja frecuencia, con mayor ascenso que reflujos, dan lugar a la deposición de sedimentos en la playa. Por otro lado, el movimiento de las olas y la corriente de retorno transportan los sedimentos desde y hacia la playa; hacia ella, gracias a la liberación de energía en la ola; y desde ella hacia el mar por la acción de la gravedad que mueve el agua de regreso y forma surcos y canales perpendiculares en la arena por el movimiento de sedimentos junto con el agua. Según Leceta (2009), la corriente de retorno es afectada por el tamaño del material transportado y mientras más grandes sean las partículas transportadas, más energía será necesaria para moverlas, por lo que podría darse el caso de tener material que no pueda ser transportado ni afectado por la corriente de retorno. En las playas de grano grueso se producen cúspides de playa (beach cups), con forma de media luna y espaciado constante a lo largo de la playa, típicas de olas de baja energía (Gutierrez, 2001).

La mezcla de estos procesos generan las formaciones características de las playas, barras de sedimentos y marismas, entre otros, de la zona litoral. Por ello, de acuerdo con Domínguez, Gracia y Anfuso (2004, citado por Aguilar, 2015), en esta investigación se consideraron las variables y razones que afectan a mediano plazo (en años y décadas) la variabilidad de la línea costera, para encontrar las principales tendencias que afectan esta variabilidad.

2.1.6. Evaluación de la Vulnerabilidad Costera

La evaluación de la vulnerabilidad costera es una herramienta que tiene la finalidad de identificar y catalogar peligros naturales actuales y predecir impactos futuros por eventos adversos, asociados a los seres humanos asentados en el litoral. Doukakis (2005) resalta que uno de los problemas más importantes de la geología costera es la respuesta física de la franja litoral al aumento del nivel del mar. El retroceso de la línea de costa, la pérdida de playas y la tasa de pérdida de terreno son variables fundamentales para el manejo de las zonas costeras y la evaluación del impacto biológico, físico y socioeconómico. De acuerdo con Appeaning (2013), para evaluar la vulnerabilidad de zonas costeras se debe de tomar en cuenta los diversos factores que producen cambios en la zona costera. Estos factores dependen de las características ecológicas y socioeconómicas de la zona de estudio. Doukakis (2005) enfatiza que la

investigación de la vulnerabilidad de los sistemas sociales y naturales ha tomado fuerza debido a que el 60% de la población mundial se encuentra en la costa. Existe gran interés por conocer el posible impacto del aumento del nivel del mar en las costas como consecuencia del aumento de la capacidad erosiva del mar y de los cambios en la frecuencia, patrones e intensidad de tormentas o inundaciones por el cambio climático. Estas zonas se encuentran en una constante dinámica, en la cual dependiendo de los fenómenos naturales y el grado de exposición y adaptación de la población, se genera una vulnerabilidad. Existe una variedad de definiciones a este concepto dependiendo de la rama de análisis (económico, social, entre otros) e incluso dentro de los estudios asociados al cambio climático, por lo que resulta de gran importancia hacer énfasis en este concepto (Ros, 2014). Pero, generalmente se coincide en que la vulnerabilidad está asociada a la posibilidad o potencial de un sistema o individuo a ser afectado o recibir daño por una fuerza o presión externa, ajena y en algunos casos, inevitable (Maclaughlin, 2002, Vega y Vega, 2005, Ros, 2014, Wong et al., 2014,).

Según Ros (2014), el IPPC en el 2001 define la vulnerabilidad como el grado que un sistema, subsistema o alguna de sus partes sea susceptible o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, como la variabilidad climática o los fenómenos extremos. Se enfatiza la capacidad de respuesta de los territorios mediante medios y estrategias propios de cada sistema para enfrentar, responder y minimizar los impactos. Además desde el contexto del análisis de riesgo, se considera esencial la incorporación de la capacidad de adaptación del sistema a dichos efectos para la gestión de riesgo (Tejada, 2017). De acuerdo con Tejada (2017), el concepto de vulnerabilidad está dividido en tres componentes: exposición del sistema frente a la amenaza, según naturaleza y grado (magnitud, frecuencia y duración), sensibilidad a ser afectado o modificado por la amenaza y capacidad adaptativa frente a los peligros. El peligro es la posibilidad de ocurrencia de un fenómeno natural propio de las características físicas del lugar o inducido por el ser humano; puede ocasionar daños a la salud, al ambiente y a la infraestructura, en un momento y lugar determinados (Zilbert y Romero, 2012). Por estas razones, los peligros de un lugar deben ser estudiados y analizados, es decir, conocer su tipo, origen, magnitud, probabilidad y frecuencia con la finalidad de delimitar el impacto sobre el territorio y la comunidad para poder tomar acciones al respecto (Aguilar, 2015). Finalmente, de acuerdo con Gornitz (1991), la vulnerabilidad costera es la capacidad física de la costa y de su población, de responder de manera adversa a los peligros, se entiende a los peligros costeros como un fenómeno natural que expone la zona litoral al riesgo de daño u otro efecto adverso. Según Vega y Vega (2005), la vulnerabilidad es el grado de susceptibilidad de una población humana ante amenazas naturales u ocasionadas por el ser humano. Siguiendo ese concepto, se entiende a

la vulnerabilidad costera como la capacidad de una población para anticiparse, resistir y recuperarse ante la posibilidad de un desastre o peligro (Zilbert y Romero 2012), sea un evento natural inesperado, como un tsunami, o regular, como el caso de la erosión costera.

De este concepto se derivan dos elementos indispensables para el análisis de la vulnerabilidad. Según Zilbert y Romero (2012) se debe identificar la exposición o ubicación de los seres humanos ante el peligro, para luego evaluar el grado de resiliencia o fragilidad de ese grupo o zona ante el peligro. Esto determina la capacidad de la zona para enfrentarse o ser afectada por el peligro, asimilar los impactos y recuperarse en el futuro (Aguilar, 2015). Además, de acuerdo Kok et al. en Aguilar (2015) se deben considerar que la vulnerabilidad cuenta con dimensiones espaciales y temporales, más los elementos físicos y socioeconómicos en los que ocurre la vulnerabilidad, generan distintos riesgos, por lo que precisar el grado de vulnerabilidad es una tarea compleja. Esta delimitación ha sido simplificada por Jiménez et al. (2009) en una ecuación de la siguiente manera:

$$\text{VULNERABILIDAD} = \text{IMPACTO} - \text{ADAPTACIÓN}$$

Ecuación 2. Delimitación de vulnerabilidad. *Fuente: Jimenez et al. (2009).*

De acuerdo con Torresan et al. (2008) mencionado por Aguilar (2015) y Jiménez et al. (2009), los impactos son los procesos litorales mencionados anteriormente, como la erosión y el ANM. La capacidad de adaptación se da en función de las características del sistema analizado y del estilo de vida de la población residente. Por lo que un enfoque trans-disciplinario es necesario para identificar indicadores apropiados para su estudio.

Para conocer la vulnerabilidad costera se han elaborado índices de vulnerabilidad costera (Gornitz, 1991, 1994 y 1997, Thieler y Hammerklose, 1999, 2000, Doukakis, 2005, Diez et al., 2007, Hinkel et al., 2013, entre otros), el cual resalta las principales zonas afectadas por procesos erosivos o de sedimentación (exposición biofísica), variables socioeconómicas o ambos (Wong et al., 2014), los cuales a través de modelos numéricos, demuestran la dinámica de las costas, con el objetivo de evaluar el riesgo hacia el ANM en diferentes zonas marino-costeras. Para crear este índice se recolecta información de las principales variables encontradas en la zona de estudio, que varían en cada investigación.

Mediante ecuaciones de variables asociadas con la morfología, inundación, fenómenos erosivos y los efectos de la acción humana en las costas, Gornitz (1991) logró identificar, cuantificar y catalogar los diferentes grados de vulnerabilidad de las costas a procesos como la erosión, el aumento del nivel del mar y los efectos de la acción antrópica en las costas, llamados Índices de

Vulnerabilidad Costera (IVC). Respecto a estos índices, Gornitz (1991) propuso que pueden ser expresados a partir de la raíz cuadrada de la suma o productos de una serie de por lo menos tres valores de variables, con la diferencia que el producto de los valores tiene la ventaja de ofrecer un rango mayor, pero es más sensible a pequeños cambios en los valores individuales de cada variable:

$$IVC = \sqrt{\frac{a+b+c+d+e+f+g}{7}} \quad (3)$$

$$IVC5 = \sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f*g}{7}} \quad (4)$$

Ecuaciones 3 y 4. Índice de Vulnerabilidad Costera. Fuente: Gornitz (1991)

En donde:

A = Pendiente

B = Tipo de roca

C = Forma del terreno

D = Movimiento vertical

E = Cambio de la línea de costa

F = Rango de las mareas

G = Altura de las olas

El uso de esta ecuación se expandió rápidamente entre los investigadores (Thieler y Hammerklose, 1999, 2000, McLaughlin, 2002, White y Wang, 2003, Doukakis, 2005, Diez et al., 2007, Aleksheikh et al., 2007, Thieler et al., 2009, Ojeda et al., 2009, Tavares y Drenkham, 2010, In Ho y Jung Lyul, 2011, Leceta, 2011, Appearing, 2013, Aguilar, 2015, entre otros) por el aumento del uso de los SIG y por ser una de las ecuaciones más simples y adecuadas para explicar las diferentes dinámicas costeras y detectar los cambios, riesgos y oportunidades dentro de una zona en desarrollo. Los investigadores que aplicaron estas ecuaciones no demoraron en modificar la ecuación de acuerdo con los distintos ambientes y lograron cada vez más adecuar la ecuación clásica para obtener resultados más precisos, hasta lo encontrado en esta

investigación, existen alrededor de 10 ecuaciones que involucran el IVC, pero se dio énfasis en las ecuaciones más utilizadas en las investigaciones encontradas.

White y Wang (2003), mediante el uso de información proveniente de modelos de elevación digital (DEM por sus siglas en inglés), hicieron un análisis cuantitativo y visual del cambio morfológico de 70 kilómetros de las costas de Carolina del Norte, Estados Unidos, entre 1997 y 2000 para determinar que se puede analizar estadísticamente el cambio en las playas y que existe una relación entre la erosión y la sedimentación. Los resultados obtenidos demostraron una gran dinámica costera sensible a la interacción humana y que la construcción de espigones, malecones, rompeolas y puertos, entre otros, altera el proceso de erosión y sedimentación de las playas, es decir, la evolución natural de las costas. Los resultados de White y Wang (2003) apoyan la teoría de que el manejo de las playas, islas barreras o acantilados tiene un gran impacto en la dinámica sedimentaria y erosiva, que puede ser negativa o positiva.

El estudio de White y Wang (2003) es un ejemplo de la evolución tecnológica y de la variación de las herramientas, metodologías y técnicas para medir los cambios morfológicos costeros o la variación de la línea del litoral. La única debilidad del estudio de White y Wang (2003) es el reducido espacio temporal de los datos provistos por las fotos satelitales, es decir, el hecho que solo tengan mediciones de tres años hace poco preciso el resultado. Sin embargo estos estudios serán más precisos, tanto en datos como en el espacio temporal, conforme se tengan los satélites más tiempo en el espacio. Como apoyo a lo mencionado, Alesheikh et al. (2007) detallan el cambio de la línea de costa usando sensores remotos, en el lago Urmia, en Irán, el segundo lago más salino del mundo. En su trabajo hacen una reflexión sobre la historia de los mapas de línea costera, que inicialmente se generaban a través de visitas al campo. Desde 1927 a 1980, las fotos aéreas fueron la fuente principal para el desarrollo de la cartografía costera, aunque se necesitaba una gran cantidad de fotos para mapear una gran extensión de territorio. Además, los procesos de colecta, rectificación, análisis y transferencia de información toman mucho tiempo, son costosos y les faltaba precisión geométrica.

Por otro lado, Doukakis (2005) señala que no existe una metodología estándar para predecir la evolución costera y que los datos para hacer tales predicciones no son claros ni rígidos. Por ello, presenta variables diferentes de las de Gornitz (1991), como las siguientes: geomorfología, pendiente, aumento relativo del nivel del mar, tasas y zonas de erosión y acumulación, rango medio de mareas y altura media de las olas.

De acuerdo a Doukakis (2005) el IVC es una aproximación que combina la susceptibilidad del sistema costero con su habilidad natural a cambiar condiciones ambientales y brinda una

medición relativa de la vulnerabilidad natural del sistema al aumento del nivel del mar. A pesar de admitir la efectividad del sistema, Doukakis (2005), hace una pequeña modificación en la ecuación clásica:

$$IVC = \sqrt{\frac{a * 3b * 3c * 3d * 3e * 3f}{6}}$$

Ecuación 5. Modificación de IVC clásico. Fuente: Doukakis (2005)

En donde:

A = Pendiente

B = Subsistencia/aumento relativo del nivel del mar

C = Cambio de la línea de costa

D = Geomorfología

E = Altura media de las olas

F = Rango medio de las mareas

Luego, divide los resultados en cuartiles (0-25 %, 25-50 %, 50-75 %, 75-100%) relativos a los distintos niveles de vulnerabilidad y caracteriza la zona en cuestión. Sus resultados ayudaron a identificar las zonas de mayor vulnerabilidad, como las desembocaduras de los ríos y las lagunas costeras al oeste del Peloponeso. Además, los grados de vulnerabilidad llaman la atención de los planificadores y del gobierno con tiempo suficiente para generar planes y estrategias de protección.

Finalmente, Doukakis (2005) concluye que el cambio climático tiende a afectar los sistemas costeros a través de la variación del nivel del mar, los patrones de precipitación, la hidrodinámica marina y la frecuencia y magnitud de los eventos extremos. Además, menciona que el IVC presenta un *ranking* de posibilidades de los cambios físicos que van a ocurrir en la línea costera mientras el nivel del agua aumenta y agrega que los IVC proveen un panorama del potencial cambio de la línea costera, que puede ser visto de dos maneras: como la base para el desarrollo de un inventario de riesgos que influyen la vulnerabilidad costera o como un ejemplo para analizar y determinar la vulnerabilidad costera debido al aumento del nivel del mar usando criterios objetivos.

Por otro lado, Diez et al. (2007) comparan dos modelos de IVC con el fin de determinar el más adecuado para el estudio de la vulnerabilidad costera a raíz del aumento del nivel del mar en las costas de Buenos Aires, Argentina. Se utilizó el IVC 5 y 6 (Ecuaciones 4 y 6) de acuerdo con Gornitz (1991) y Gornitz et al. (1997). Los resultados llevan a los autores a determinar que el IVC5 (Ecuación 4) no se adecua para la geomorfología de Argentina debido a su clasificación y valoración, pero que la Ecuación (6) da una respuesta adecuada:

$$IVC6 = \sqrt{\frac{4a + 4b + 2c + 4d + 2e}{5}}$$

Ecuación 6. Modificación de IVC clásico con pesos. Fuente: Diez et al. (2007).

Donde:

A = Elevación

B = Aumento del nivel del mar

C = Geología + geomorfología

D = Cambio de la línea de costa

E = Altura de las olas + rango de las mareas

Los resultados luego se ponen en rangos y se dividen en cuartiles (0-25 %, 25-50 %, 50-75 %, 75-100 %) relativos a los distintos niveles de vulnerabilidad y se caracteriza la zona en cuestión. Diez et al. (2007) concluyen que el IVC6 es el más adecuado para el análisis de la costa de la provincia de Buenos Aires porque responde mejor a la diversidad ambiental. Los resultados de Diez et al. (2007) demuestran la importancia de otorgarle pesos matemáticos a cada variable, ya que de esta manera se determina mejor su resultado para el análisis de costas con diferentes morfologías. Un caso parecido es del estudio de Ojeda et al. (2009), en donde el autor hace una adaptación de la variable geomorfología/geología, según las formas y formaciones geomorfológicas encontradas. Pero, esta valoración no está libre de sesgo, ya que depende del investigador y puede traer diferentes puntos de vista sobre los pesos relativos de cada variable.

In Ho y Jung Lyul (2011), estudiaron el monitoreo y manejo de playas a lo largo de 300 km de la costa en la provincia de Gangwon, Corea, con el objetivo de generar planes de desarrollo de la zona costera regional. La falta de una estrategia integrada de manejo de playas y zonas costeras ha propiciado la ocupación humana desordenada y la construcción de infraestructura, como espigones, rompeolas y malecones, de manera arbitraria y sin conocimiento de la dinámica costera. Para ese estudio desarrollaron el programa de monitoreo de playas y el sistema de diagnóstico de playas de la provincia de Gangwon y recopilaron datos desde 1997 sobre la línea costera y perfiles de playas de balnearios regionales para interpretar los eventos que afectaron

el litoral y predecir futuros escenarios con el propósito de contar con una base para la toma de decisiones sobre la ocupación y desarrollo de la zona costera. La toma de datos de campo se hizo con tecnología de punta, mediciones barométricas con botes y equipo GPS. Demostraron que no sólo se deben de recopilar datos de puntos arbitrarios de manera individual o de proyectos individuales, sino que es necesario que una sola organización respaldada por una ley que delimite sus funciones y responsabilidades asuma la correcta administración de la información recopilada para generar un modelo nacional, actual y confiable. In Ho y Jung Lyul, (2011) sostienen que existe una interrelación de impactos entre las construcciones humanas costeras y la dinámica erosiva y viceversa.

Estudios como el de McLaughlin et al. (2002) han ido incorporando variables socioeconómicas para precisar y determinar el impacto del cambio de la dinámica costera en la actividad antrópica, mediante la incorporación, dentro de la fórmula original de Gornitz (1991, 1994 y 1997), de tres subíndices: socioeconómico, características de costa y fuerzas de impacto a la costa. Este tipo de estudio pretende incluir la vulnerabilidad frente al incremento del nivel del mar, afectado por el cambio climático, dentro de sus variables se encuentran el uso del suelo, los tipos de vías, tipos de centros poblados, entre otros. A pesar de las modificaciones a la fórmula presentada por Gornitz (1997) en la que se incluyen variables socioeconómicas, investigaciones como las de Appeaning (2013), o Palmer et al. (2011) siguieron aplicando el IVC5 (Ecuación 4) presentado por Gornitz (1997). Este estudio demuestra que la metodología del IVC presentada por Gornitz (1997) sigue vigente, pero existe la necesidad de incluir variables socioeconómicas, por lo que en esta investigación se integraron estas variables según el contexto actual.

En el ámbito nacional, las investigaciones sobre la dinámica costera en Puerto Chicama (Drenkhan y Tavares 2010), Paita (Rondón 2011) y la bahía de Miraflores (Leceta 2009) han marcado un inicio en el estudio sobre la dinámica costera y la variabilidad costera peruana. Por otro lado, estudios como el de Aguilar (2015), Tejada (2017) y Ramírez-Gastón (2017), constituyen los primeros pasos en la aplicación de los Índices de Vulnerabilidad Costera en el país ya que han empezado a aplicar diferentes ecuaciones del IVC con variables y clasificación propia. Aguilar (2015) concluye que el IVC, utilizando variables físicas y socioeconómicas, es una propuesta adecuada para determinar la vulnerabilidad de las zonas costeras. De acuerdo con Tejada (2017), la aplicación del IVC en su zona de estudio permitió lograr una aproximación más completa y factible de las variables en estudio, donde se pudo probar la efectividad del IVC. La división de cada unidad de análisis, la caracterización, clasificación y valoración de cada variable fue de suma importancia. Aguilar (2015), recalca que se necesita optimizar el IVC, para

poder desarrollar un IVC para toda la costa peruana. Siguiendo estas conclusiones y debido a la cantidad de zonas del litoral peruano sin la aplicación de un IVC, esta investigación buscó formular y aplicar un IVC (basado en el IVC5) en la área de estudio, utilizando información cuantitativa y cualitativa de las diferentes variables encontradas en el área de estudio. La diferencia recae no sólo en una ubicación diferente de los estudios previos en el país, sino en la selección de variables, su clasificación, valoración y ecuación del IVC utilizado en esta investigación.



3. ÁREA DE ESTUDIO: MÁNCORA, LOS ÓRGANOS Y PUNTA SAL

El área de estudio abarca 35 kilómetros del litoral, desde el balneario de Punta Veleros, en el departamento de Piura, hasta el muelle de Cancas, en el departamento de Tumbes. Dentro de esta delimitación se considera el balneario y pueblo de Los Órganos, ubicado en 4°10'35.35" latitud sur y 81°07'28.48" longitud oeste (distrito de Los Órganos); el pueblo y playas de Máncora, ubicada en 4°06'12.52" latitud sur y 81°02'42.37" longitud oeste (distrito de Máncora), ambos en la provincia de Talara en el departamento de Piura, y el balneario y pueblo de Punta Sal (distrito de Canoas de Punta Sal, provincia de Contralmirante Villar) ubicado en Tumbes, en las coordenadas 3°57'24.10" latitud sur y 80°57'21.67" longitud oeste. La zona de estudio colinda por el norte en el distrito de Tumbes, con 18.4 km dentro de la línea litoral del distrito de Canoas de Punta Sal en Tumbes, en el departamento del mismo nombre, por el oeste con el océano Pacífico, al sur con el distrito del Alto en Piura y al este con la provincia de Sullana, departamento de Piura.

Dentro de esta delimitación se consideraron las playas de Punta Veleros, Los Órganos, Vichayito, Pocitas, Máncora, El bravo, Punta Sal y Cancas. A su vez, la delimitación de las playas se da en su mayoría a la ocupación humana y en menor medida a los accidentes geográficos y se ilustra en la Figura 6.

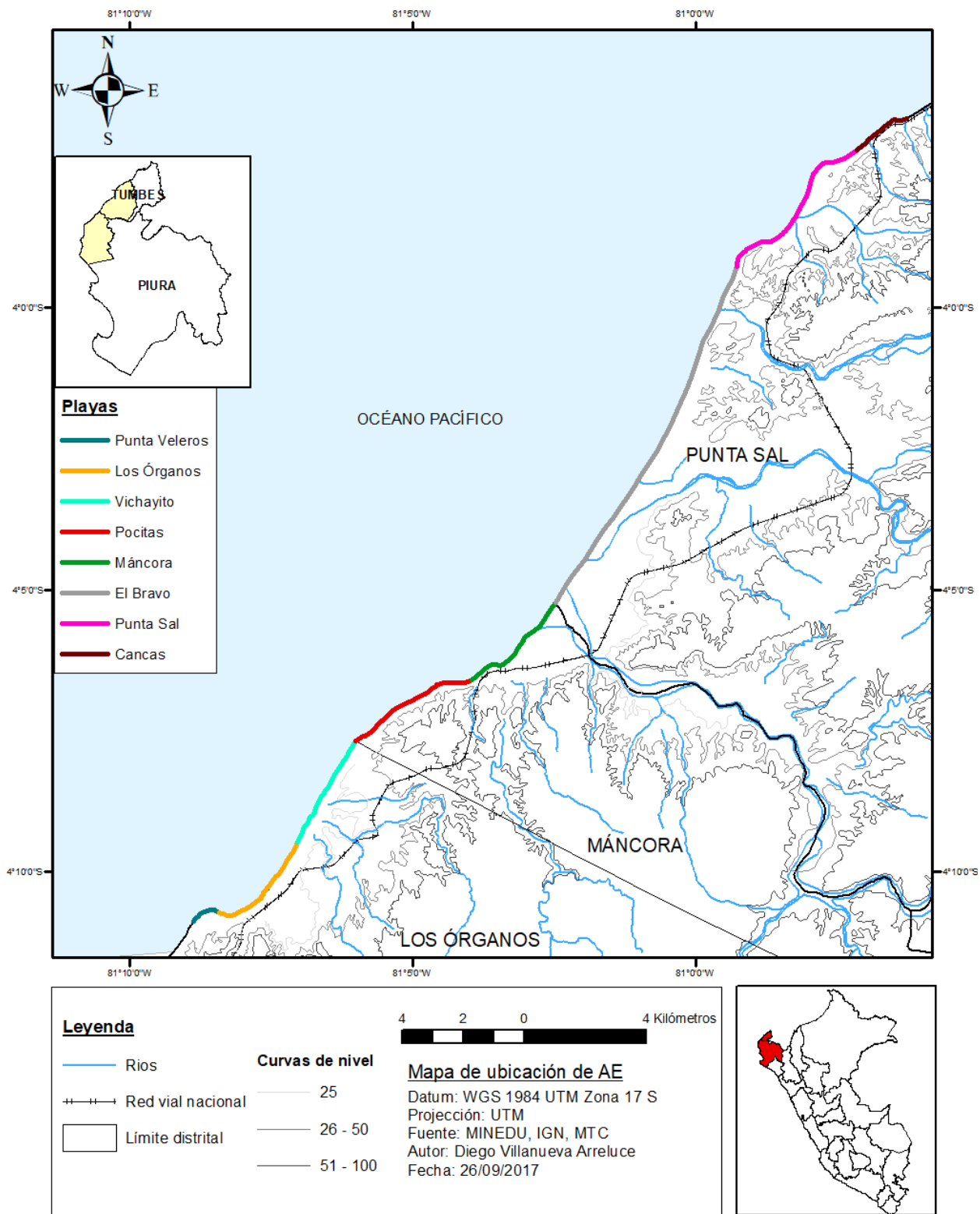


Figura 6. Delimitación del área de estudio: identificación de los departamentos, provincias, distritos, accesos y playas. *Fuente: Elaboración propia.*

3.1. Clima general y dinámicas naturales

Esta área tiene un clima de sabana tropical, con una temperatura promedio de 26°C. Los meses calurosos, de diciembre a abril, se caracterizan por lluvias ligeras en las noches y una temperatura que puede llegar fácilmente a los 35 °C. Cuando ocurre el fenómeno El Niño puede llegar hasta 40°C. En el resto del año, la temperatura del día rara vez baja de los 26 o 27°C, aunque en el invierno, de junio a setiembre, las noches son frescas, con vientos fuertes y una temperatura mínima de 17 °C. La clasificación climática de Thornthwite, la provincia de Talara y Canoas de Punta Sal, son del tipo “árido, semicálido, con humedad relativa promedio de 85% y con carencia o deficiencia de lluvias en todas las estaciones” (codificación E(d) B'1 H3). Además, se puede ver una fluctuación en el rango de temperaturas de aproximadamente 9 grados, por su característica de sector litoral, en donde actúa la termorregulación del mar, debido a la intensificación de las brisas marinas y el transporte de aire frío y húmedo del mar al litoral. Esta humedad relativa en las zonas costeras es moderada, siendo el producto de los vientos alisios y las brisas marinas, en eventos como ENSO, moderado o fuerte, la humedad se intensifica, llegando a valores mayores a 85 % (Senahmi, s.f.).

De acuerdo con Senahmi (s.f.), La temperatura del mar en Piura y Tumbes oscila entre 27 y 22°C durante los meses de verano (de diciembre a abril) y el resto del año entre 22 y 19°C. Esto ocurre debido a la influencia de la corriente fría de Humboldt, ascenso de agua fría de la corriente que se mueve a lo largo del litoral piurano de la sub-superficie a la superficie, que en contacto con el aire este se enfría y así se limita la convección, con una disminución de afloramientos en verano, y la corriente cálida del evento El Niño. Esta corriente cálida se manifiesta por la intrusión de aguas tropicales hacia el sur, generando cambios y alteraciones en las características físicas en el clima, generando consecuencias socioeconómicas para el país (Rondón, 2011). Además, la temperatura del mar se ve influenciada por el oleaje y las corrientes que predominan en cierto periodo del año (Senahmi, s.f.). El oleaje (Figura 7), a partir de datos desde el 2006, sugiere una dirección Oeste-Suroeste, un tamaño promedio de 1.3 a 2 metros, periodo de 11 a 15 segundos y un 88% de posibilidad de rompiente, el viento predominante (Figura 7) es Oeste-Suroeste y su intensidad varía entre los 10 y 30 kph, la marea tiene una variación aproximada de 1.80 metros.

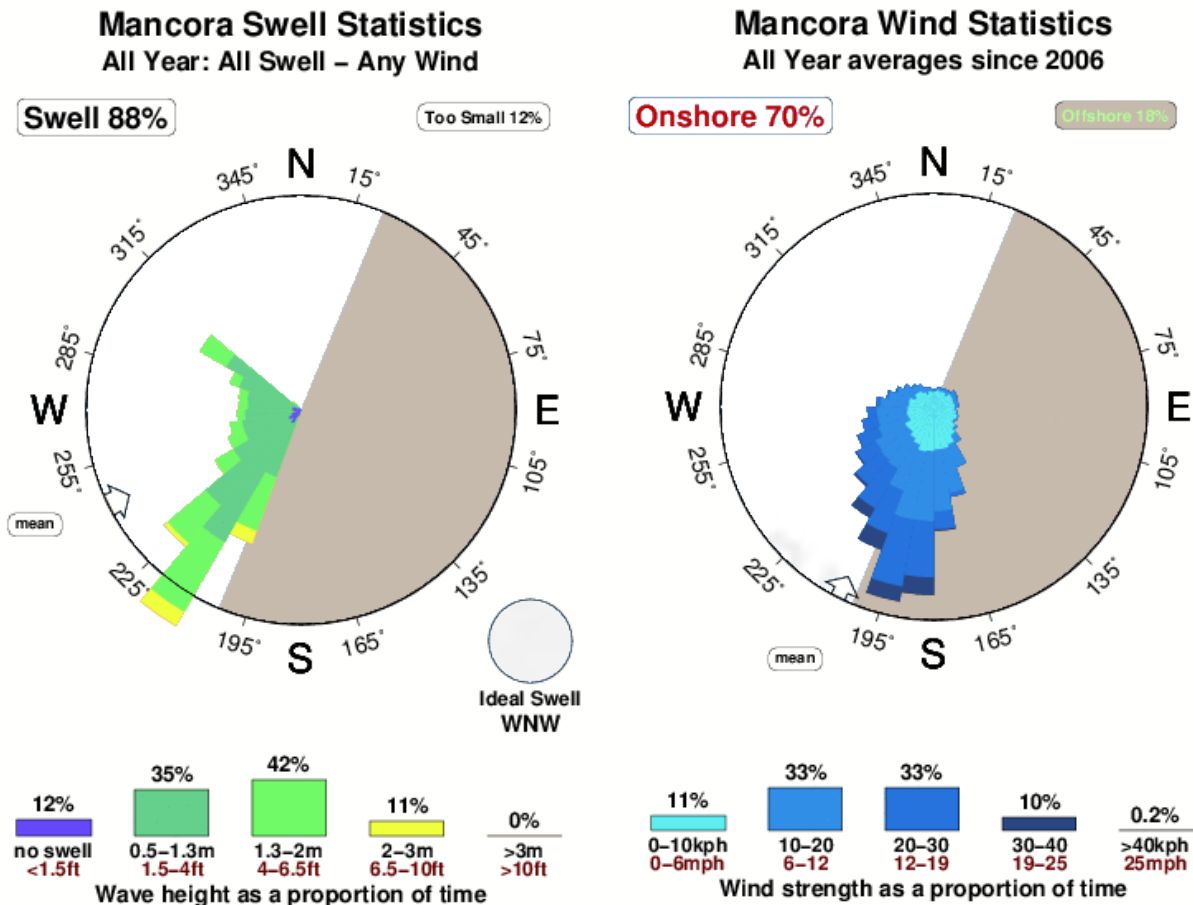


Figura 7. Características del oleaje y viento en la zona de estudio. Fuente: Surf-forecast.

3.2. Geología y geomorfología general

Dentro del área de estudio se encuentra el Grupo Talara, la cual, según el INGEMNET (1999), se desarrolló en el terciario en el Eoceno medio y se extiende desde norte-noreste y al sur de Talara, el cual afloró a lo largo de la franja costanera, estando conformado por tres partes: el inferior lutaceo, el medio arenoso y el superior lutaceo, pero, debido a los cambios de facies, solo se puede reconocer a los conglomerados-arenosos y el superior lutaceo. Luego, en el Oligoceno, se dio la transgresión llamada la Formación Máncora, la cual posee niveles conglomerádicos y areniscas gruesas a finas (INGEMNET, 1999). Más adelante, en el cuaternario pleistocénico, se dieron procesos de levantamientos a lo largo de la costa, debido al tectonismo regional y las oscilaciones del nivel del mar, resultando en transgresiones y regresiones que originaron depósitos arenosos coquiníferos, como terrazas levantadas.

Más a detalle, la región Máncora-Fernández (Quebrada Seca), dentro del área de estudio, se encuentran dos secciones del grupo Talara: la inferior y superior. La primera compuesta de un

conglomerado basas de guijarros de cuarzo, cuarcitas, areniscas, entre otros, (INGEMMET, 1999), estando la litología en Máncora constituida principalmente por areniscas de grano fino a grueso. Por otro lado, dentro del área de estudio se encuentra el tablazo Máncora, representado por altas planicies que se extienden al sur de Los Órganos y Máncora, compuestos de conglomerados de cantos de roca de diferente naturaleza, arenas finas o gruesas, bioclásticas con fragmentos de conchas, entre otras, dentro de una matriz areniscosa y salina (INGEMMET, 1999). Este tablazo, se encuentra dentro de la deformación Neotectónica, en donde sigue habiendo un fracturamiento y levantamiento en la línea litoral de los tablazos marinos desde el pleistoceno, debido al crecimiento de la Cordillera de los Andes.

De acuerdo los mapas geológicos del INGEMMET (1999 y 2009), el área de estudio se caracteriza, de sur a norte, por la presencia de la formación La Chira, perteneciente a la serie de Eoceno Superior, del sistema Paleogeno de la era Cenozoica, en conjunto con depósitos eólicos pertenecientes al Holoceno Cuaternario, de la era Cenozoica. Este depósito se esparce a lo largo de toda la línea costera de la zona de estudio, con un ancho muy delgado. En la zona de los Órganos, se observa una mezcla entre el depósito eólico antes mencionado, y un depósito aluvial un poco más tierra adentro, perteneciente a la misma clasificación geológica. Más al norte, en la zona perteneciente a Vichayito y Pocitas se encuentra la formación Mirador, perteneciente al Eoceno Superior, del sistema Paleogeno y la era Cenozoica, que corresponde a depósitos aluviales y eólicos encontrados en la zona de Máncora, la cual se extiende hacia el norte y es visible en la zona de Cancas. Es en esta sector (El Bravo, Punta Sal y Cancas) en se conglomeran la formación Máncora, Chira y Talara, en conjunto con depósitos aluviales, a la altura de la Quebrada Peña Morales.

La geomorfología de la zona de estudio es producto de la evolución tectónica y la erosión de la costa a causa de los agentes erosionantes y meteorizantes, como la mecánica de las olas, la acción eólica y los aportes sedimentarios de los ríos y quebradas (INGEMMET, 1999) e incluye las siguientes unidades geomorfológicas: talud continental, plataforma continental, borde litoral y repisa costanera presentes en la Figura 8.

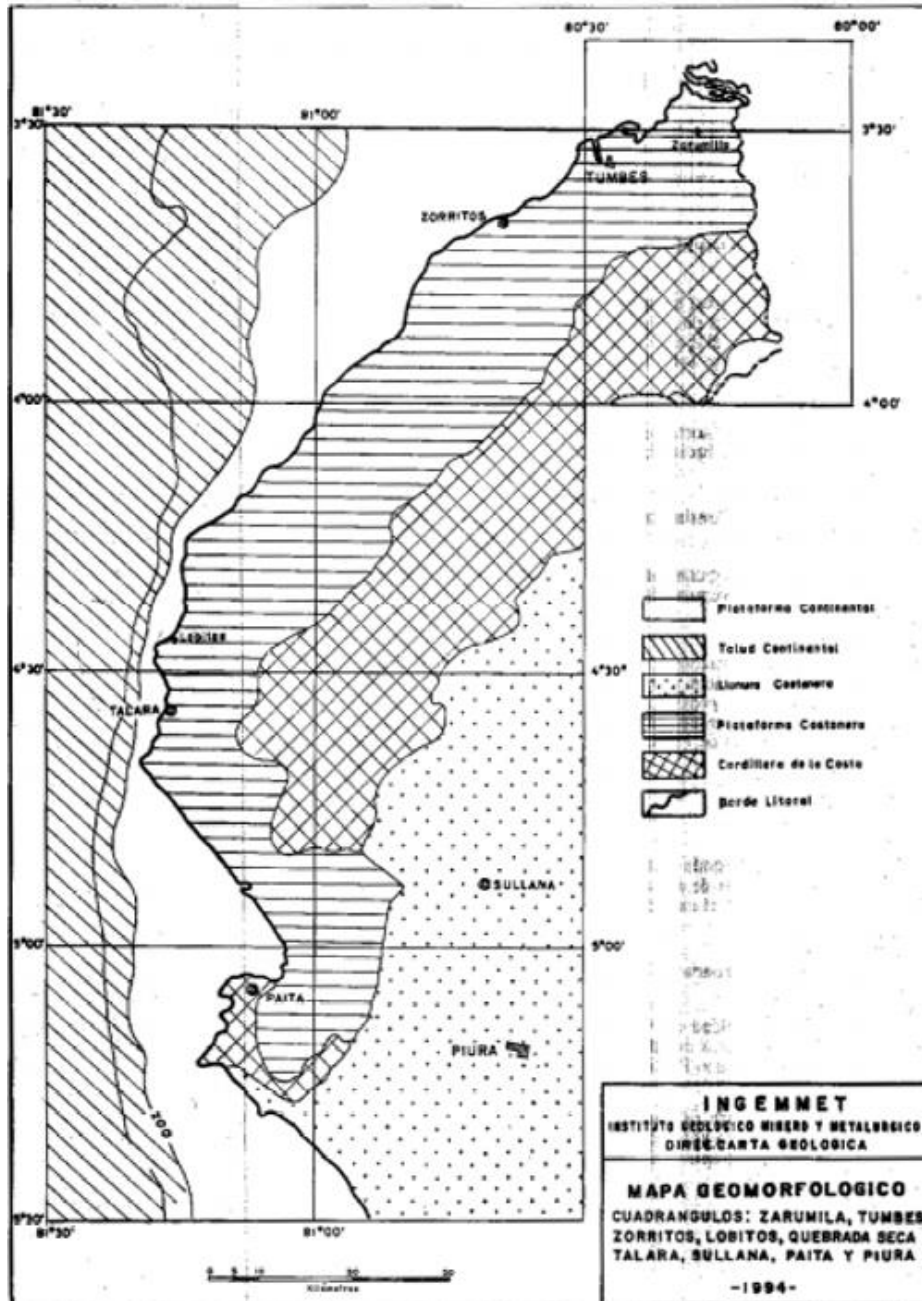


Figura 8. Unidades geomorfológicas. Fuente: *Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada Seca, Zorritos, Tumbes y Zarumilla*, INGEMMET (1999).

El talud continental comprende desde la zona en donde se presenta una pendiente brusca en la plataforma continental, siendo en el caso del Noroeste peruano (Paita – Talara – Lobitos), una pendiente fuerte entre los 200 a 500 metros de profundidad. La plataforma continental encontrada hasta el norte de Máncora con un ancho promedio de 50 km, para luego estrecharse hacia el sur, hasta Paita. El borde litoral se trata de una estrecha faja cubierta por depósitos eólicos y marinos,

a veces limitada por el cordón litoral. Finalmente la repisa costanera se extiende desde el borde litoral hasta los Cerros de Amotape, al sur de Talara con los altos de Negritos-Portachuelo y Paita, hasta el desierto de Sechura. Nuevamente según el INGEMNET (1999), su evolución geomorfológica se da debido a la tectónica del subsuelo, levantamientos verticales que siguen en lineamiento y han generado las terrazas escalonadas o tablazos (como el tablazo de Máncora) siendo uno de los más altos, alejados y antiguos de la línea litoral.

3.3. Descripción socioeconómica

Los datos y proyecciones demográficas fueron recabados del último censo nacional realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2007), del censo nacional de 1993 y del portal web del Sistema Regional para la Toma de Decisiones.

Para el distrito de Los Órganos, según datos censales del INEI (1993, 2007), la población se ha disminuido en 1%, del periodo 1993 – 2007 (Tabla 2). La tasa proyectada de decrecimiento poblacional ha sido de - 2.1% en el periodo 2007 – 2015, siendo el total de la población para el 2007 un 87.17% urbano. En este mismo año, la cantidad de casas particulares/viviendas colectivas, y personas en el distrito era de 2695 viviendas y 9612 personas (7.43 % del total provincial), lo que implica densidad de 3.53 personas por vivienda dentro del distrito. Dentro de esta población, el 59.63% pertenece al grupo de población infantil y población joven (0 año a 14 años) y se ha encontrado un crecimiento del 50% en la cantidad de nacimientos entre 2005 – 2015 (INEI, 2017). A nivel urbano, en el 2007, se encontraron 2323 viviendas particulares y una población de 8379, es decir una densidad de 3.61 personas por vivienda.

Para el distrito de Máncora, según datos censales, la población ha aumentado en 50.48 %, del periodo 1993 – 2007 (INEI 1993, 2007). La tasa proyectada de aumento poblacional ha sido de 22.20 % en el periodo 2007 – 2015 y se encuentra una tendencia de aumento, a pesar de un decrecimiento porcentual, siendo el total de la población para el 2007 un 96.03 % urbano. En este mismo año, la cantidad de casas particulares/viviendas colectivas, y personas en el distrito era de 3443 viviendas y 10547 personas, lo que implica densidad de 3.06 personas por vivienda dentro del distrito. Dentro de esta población, el 43.37 % pertenece al grupo de población infantil y población joven (0 año a 14 años) y se ha encontrado un crecimiento del 26.87 % en la cantidad de nacimientos entre 2005 – 2015 (INEI, 2007). A nivel urbano, en el 2007, se encontraron 2791 viviendas particulares y una población de 10128, es decir una densidad de 3.63 personas por vivienda.

Para el distrito de Punta Sal, según datos censales, sólo se cuenta con datos a partir del 2007, luego de la creación de este en el 2006 por Ley N. 28707. La tasa proyectada de aumento poblacional ha sido de 17.42 % en el periodo 2007 – 2015 y se encuentra una tendencia de aumento, siendo el total de la población para el 2007 un 77.35 % urbano. En este mismo año, la cantidad de casas particulares/viviendas colectivas, y personas en el distrito era de 1366 viviendas y 4429 personas, lo que implica densidad de 3.24 personas por vivienda dentro del distrito. Dentro de esta población, el 32.24 % pertenece al grupo de población infantil y población joven (0 a 14 años) y se ha encontrado un crecimiento del 96.66 % en la cantidad de nacimientos entre 2006 – 2015 (INEI, 2007). A nivel urbano, en el 2007, se encontraron 806 viviendas particulares y una población de 3426, es decir una densidad de 4.25 personas por vivienda.

Tabla 2. Población total censada en 1993 y 2007, crecimiento y tasa poblacional proyectada al 2015. Fuente: INEI (1993, 2007). Elaboración propia.

Distrito	Población 1993	Población 2007	Tasa de crecimiento 1993-2007	Proyección de 2015	Población 2015
Los Órganos	9709	9612	- 1.0%	- 2.1%	9411
Máncora	7009	10547	50.5%	22.2%	12888
Canoas de Punta Sal	No hay data	4429	No hay data	23.6%	5474

Respecto a la ocupación en el distrito, en los Órganos se reportó un total de 89.13 % viviendas “particulares con ocupantes presentes” (INEI, 2007), de las 2695 viviendas (Figura 9). De estas viviendas, el material predominante de las paredes de las viviendas del distrito es principalmente ladrillo o bloque de cemento (58.8 %), siendo los mejor materiales para la construcción, le siguen los materiales de madera (17.94 %) y quincha (15.78 %). En el distrito de Máncora, se reportó un total de 86.60 % viviendas “particulares con ocupantes presentes” (INEI, 2007), de las 2791 viviendas. De estas viviendas, el material predominante de las paredes de las viviendas del distrito es principalmente ladrillo o bloque de cemento (50.35 %), siendo los mejor materiales para la construcción, le siguen los materiales de quincha (32.64 %) y madera (7.03 %). En el distrito de Canoas de Punta Sal, se reportó un total de 77.00 % viviendas “particulares con ocupantes presentes” (INEI, 2007), de las 1366 viviendas. De estas viviendas, el material predominante de las paredes de las viviendas del distrito es principalmente ladrillo o bloque de cemento (51.43 %), siendo los mejor materiales para la construcción, le siguen los materiales de quincha (33.08 %) y madera (3.71 %).

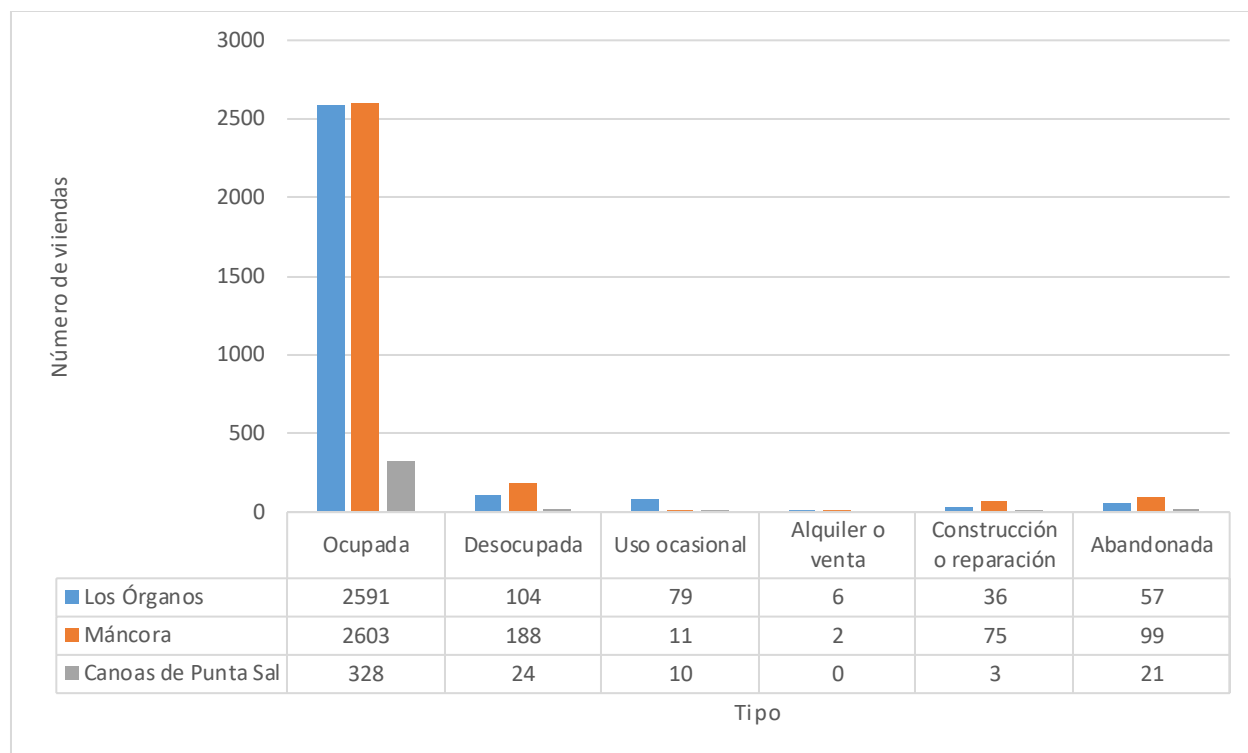


Figura 9. Condición de ocupación de Los Órganos, Máncora y Punta Sal. *Fuente: Sistema Regional para la Toma de Decisiones (INEI, 2007). Elaboración propia.*

Por otro lado, las actividades económicas tradicionales del distrito de Los Órganos son principalmente la pesca (20.9 % del total de 3578 personas de la PEA ocupada), el comercio (13.8 %) y el transporte, almacenaje y comunicaciones (11.5 %). Cabe resaltar además la actividad económica de hoteles y restaurantes (8.1 %) siendo mayor a la media de la provincia de Talara y a la actividad inmobiliaria y alquileres (6.7 %). El 31.95 % de la población ha culminado sus estudios secundarios, el 30.38 % ha terminado la educación primaria y el 9.26 % del distrito cuenta con educación inicial o sin nivel. En el distrito de Máncora, las actividades económicas son principalmente el comercio (16.1 % del total de 4199 personas de la PEA ocupada), los hoteles y restaurantes (13.8 %), la construcción es también una actividad económica presente (11.6 %) y se encuentra a la par con transportes almacenes y comunicaciones (11.4 %) y la pesca (11 %). El 31.95 % de la población ha culminado sus estudios secundarios, el 30.38 % ha terminado la educación primaria y el 9.26 % del distrito cuenta con educación inicial o sin nivel. En el distrito de Canoas de Punta Sal, las actividades económicas son principalmente la pesca (31.6 % del total de 1842 personas de la PEA ocupada), el comercio (11.1 %) y el transporte y comunicaciones. Los hoteles y restaurantes son la cuarta actividad económica de importancia (7.1 %), siendo mayor que la media de la provincia (6.3 %), empleando

un total de 130 personas en 2007. El 30.19 % de la población ha culminado sus estudios secundarios, el 49.07 % ha terminado la educación primaria y el 11.10 % del distrito cuenta con educación inicial o sin nivel.

En términos de vulnerabilidad por salud, el 55.35 % de la población del distrito de Los Órganos no cuenta con ningún tipo de seguro de salud, lo que refiere a una gran falta de seguridad y vulnerabilidad médica para más de la mitad de la población. El 18.13 % de la población cuenta con el SIS (Seguro Integral de Salud), el 20.89 %, seguro de ESSALUD y el 6.14 % restante otros tipo de seguro. Además, según el Sistema de Consulta de Principales Indicadores de Pobreza (2007), del total de viviendas particulares con ocupantes presentes (9355 personas), el 19.1 % se encuentra en incidencia de pobreza total. En relación a la media de 25.6 % del total de la provincia de Talara, el distrito se encuentra en mejor situación de pobreza total que la provincia. De la misma manera, 0.8 % se encuentra en incidencia de pobreza extrema, en relación a la media de 1.6 % del total de la provincia, existe menos personas en pobreza extrema en relación a la provincia. En el caso del distrito de Máncora, el 62.78 % de la población tampoco cuenta con ningún tipo de seguro de salud, lo que refiere a una gran falta de seguridad y vulnerabilidad médica para casi dos tercios de la población. El 18.00 % de la población cuenta con el SIS (Seguro Integral de Salud), el 11.92 %, seguro de ESSALUD y el 7.30 % restante otros tipos de seguro. Del total de viviendas particulares con ocupantes presentes (10 547 personas), el 27.1 % se encuentra en incidencia de pobreza total, en relación a la media de 25.6 % del total de la provincia de Talara, el distrito se encuentra en una peor situación de pobreza total que la provincia. De la misma manera, 1.5 % se encuentra en incidencia de pobreza extrema, en relación a la media de 1.6 % del total de la provincia, existe menos personas en pobreza extrema en relación a la provincia. Finalmente, en el distrito de Canoas de Punta Sal, el 51.39 % de la población no cuenta con ningún tipo de seguro de salud, lo que refleja nuevamente a una falta de seguridad y vulnerabilidad médica para la mitad de la población. El 35.49 % de la población cuenta con el SIS (Seguro Integral de Salud), el 10.41 %, seguro de ESSALUD y el 2.71 % restante otros tipos de seguro. Del total de viviendas particulares con ocupantes presentes (4 260 personas), el 22.9 % se encuentra en incidencia de pobreza total, en relación a la media de 15.2 % del total de la provincia de Contralmirante Villar, el distrito se encuentra en una peor situación de pobreza total que la provincia. De la misma manera, 1.0 % se encuentra en incidencia de pobreza extrema, en relación a la media de 0.9 % del total de la provincia, existen más personas en pobreza extrema en relación a la provincia.

Finalmente, durante todo el año y con más fuerza en los meses de verano (enero – abril) ocurre una migración estacionaria fuerte hacia este distrito, debido a la cantidad de casas de uso privado, hoteles y restaurantes, esta dinámica se explicará en la discusión.



4. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se desarrollan, explican y diferencian los aspectos metodológicos, el enfoque, las etapas, los instrumentos e información primaria y secundaria que se han empleado a lo largo de la investigación para elaborar el Índice de Vulnerabilidad Costero, según lo establecido por Gornitz (1991,1994 y 1997). Además se explican las técnicas de levantamiento y clasificación de parámetros y los criterios de clasificación de estos.

4.1. Enfoques y etapas de la investigación

En el ámbito de la geografía física, se abordó la geomorfología del litoral y en la rama de la geografía humana, se trabajó el análisis de vulnerabilidad ante el riesgo de desastres. Se decidió usar este enfoque porque, la vulnerabilidad de las zonas costeras se relaciona estrechamente con la geomorfología del litoral, pues sus características delimitan el grado de peligro y exposición, y el grado de resiliencia del área de estudio y de la población, lo que es importante para planificar las actividades socioeconómicas y las inversiones, la respuesta ante desastres y la priorización de las zonas que se deben intervenir. De la misma manera, si no se conocen las dinámicas del litoral no se puede realizar ninguna acción de planificación ante desastres o priorización de zonas a intervenir. Por ello mediante el enfoque de la geomorfología del litoral y el análisis de la vulnerabilidad ante riesgo de desastre se logrará analizar desde una perspectiva más completa la vulnerabilidad de las zonas costeras debido a factores físicos (geomorfología, pendiente de playa, entre otros) como los antrópicos (distancia de las estructuras a la costa, densidad poblacional, etc.) en el área de estudio.

En esta investigación, el área de estudio fue analizada en dos partes: en primer lugar para la información previa a la salida de campo, mediante investigación meramente bibliográfica y en segundo lugar a través de recopilación de información en campo, mediante la observación y registro fotográfico, métodos cuantitativos y cualitativos como la ficha litoral, los perfiles de playa y el procesamiento y análisis de fuentes secundarias. La rama de la geomorfología del litoral es la base de la tesis, ya que el análisis del índice de vulnerabilidad costero determinará los sectores costeros más vulnerables.

Las etapas de la investigación se representan en un diagrama de flujo con orientación a los resultados presentado en la Figura 11. Se indican aspectos como la información recolectada tanto en gabinete como en el campo y los temas involucrados en la investigación. En este diagrama se visualizan los procedimientos empleados a lo largo de la investigación en su respectivo orden y se diferencian aquellos que no son excluyentes y los pasos que se pueden realizar en paralelo.

En la geografía física, en la sección de geografía de litoral la salida de campo se realizó del cuatro al diez de agosto del año 2016. En esta rama se involucran datos cuantitativos y cualitativos en el momento de la caracterización geomorfológica, establecimiento de pendiente, caracterización de los sedimentos de playas, entre otros, estos datos fueron recopilados en la ficha litoral, los perfiles de playa y las muestras de sedimento.



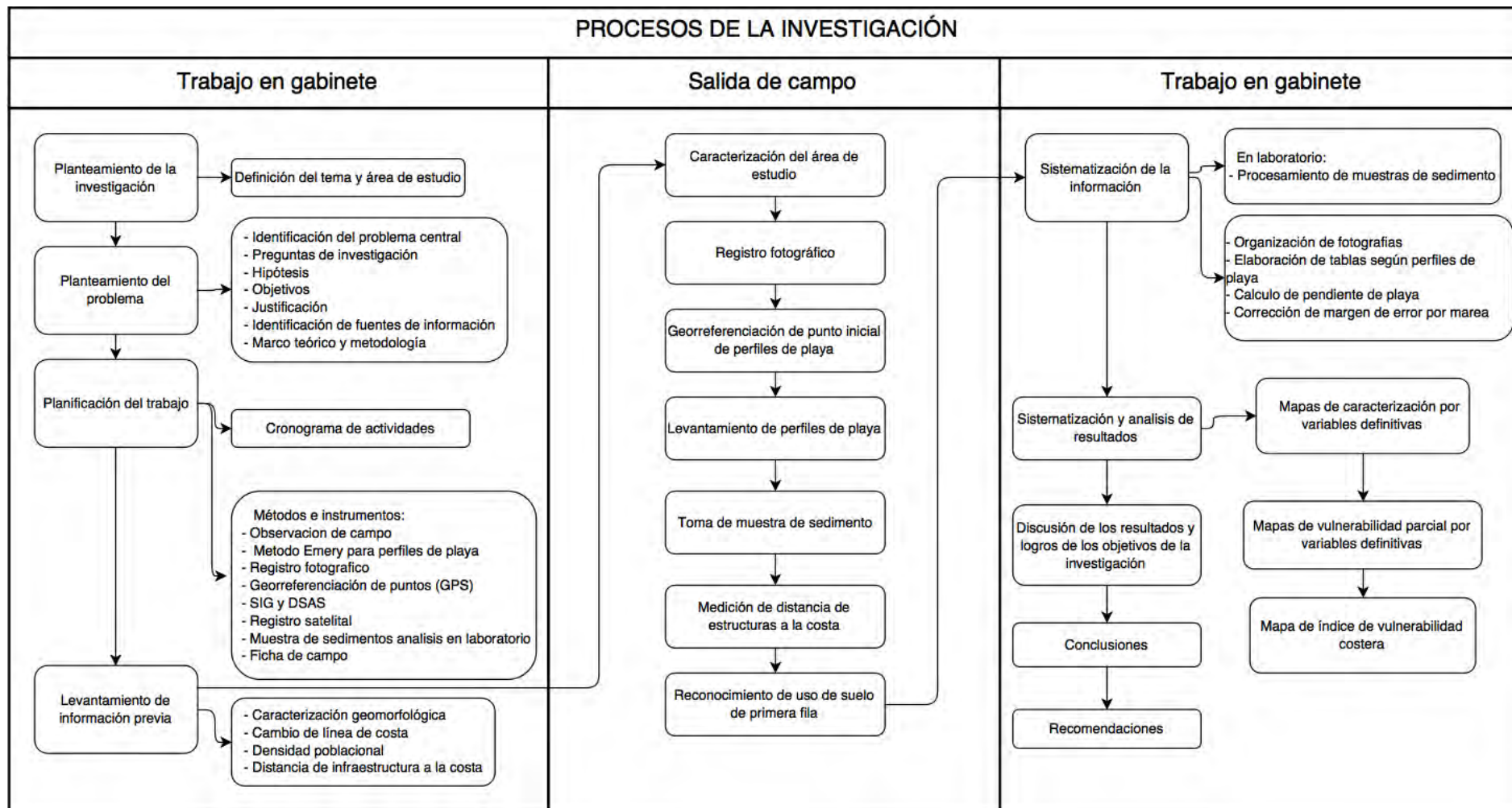


Figura 10. Flujograma del proceso de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Índice de Vulnerabilidad Costera

El IVC aplicado en esta investigación para la identificación de la vulnerabilidad costera en los balnearios de Máncora, Los Órganos y Punta Sal, se basa principalmente en el IVC5 (Ecuación 4) utilizado en estudios e investigaciones previas, como aquellas hechas por Diez et al. (2007), Gornitz (1991,1994 y 1997), Pendleton (2004) y Thieler & Hammer-Klose (1999, 2000 y 2009), entre otras. Este IVC incluye variables de otros índices previamente mencionados, adaptados para el cálculo de la vulnerabilidad por zonas (Rondón, s.f. en Aguilar, 2015). Asimismo, este IVC asigna el mismo valor a variables determinadas basadas en su contribución a cambios físicos de la costa en la escala del 1 al 5, siendo el 1 “vulnerabilidad muy baja” a 5 “vulnerabilidad muy alta”. Por otro lado, se ha realizado una adaptación y modificación de la fórmula propuesta por Gornitz (1997) según las variables encontradas en el área de estudio, según la disponibilidad de información y la capacidad de recolección de datos, este tipo de adaptaciones ya se han dado en ocasiones anteriores, como es el caso de Diez et al. (2007), Nageswara et al. (2008), entre otros.

El IVC ha sido dividido en dos grupos según tipo de variables. Las variables físicas corresponden a la respuesta física de la costa frente a diversos peligros naturales, como es el aumento del nivel del mar y la erosión costera, estos fueron obtenidos de la formula presentada por Gornitz (1997) y de Diez et al. (2007), siendo la pendiente, la geomorfología y la variabilidad de la línea de costa. La información de estas variables fue recolectada en la salida de campo, realizada en el mes de Agosto 2016. La información de la pendiente se incluye en el índice debido a su importancia en el riesgo de inundación de una playa y su potencial rapidez en el retroceso de la costa. Esto ocurre debido a que con poca pendiente el retroceso es mayor que en mayor pendiente. La geomorfología se incluyó debido a su relación directa con la erosión y se optó por la clasificación propuesta por Diez et al. (2007), debido a que se ajusta mejor a las características del área de estudio. Finalmente la variabilidad de la línea de costa fue elegida debido a que permite conocer el retroceso o avance de la línea del litoral con respecto a la costa en un espacio temporal y se siguió lo establecido por Gornitz (1997) y Aguilar (2015). Este retroceso puede deberse a la erosión, al incremento del nivel del mar o a la disminución de sedimentos disponibles, siendo esta información importante debido a que permite conocer la dinámica costera.

Por otro lado, las variables socio-económicas elegidas para este índice se han incluido debido a la importancia de este tipo de datos, ya que estos permiten conocer la adaptación de la población local frente al riesgo. Las variables elegidas fueron el uso del suelo, la densidad poblacional y la

distancia de los edificios a la línea costera. Los datos utilizados fueron recolectados en la salida de campo y mediante las fuentes de información secundarias disponibles, como el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) del 2007. El uso del suelo de la primera fila de infraestructura fue analizado debido a la importancia económica, donde el espacio comercial, cultural o ambiental de una determinada área, debido al uso de la población, su importancia y concentración, genera una mayor vulnerabilidad, por ejemplo áreas público-privado o residencial-comercial, por ello la vulnerabilidad más baja se encuentra en zonas eriazas y/o en cuerpos de agua (McLaughlin et al. 2002). Por otro lado, la distancia de los edificios a la costa fue planteado de acuerdo al Manual Básico para la Estimación de riesgo del INDECI y la ley de playas (Ley N. 26856 de 197 y reglamento de 2006), utilizado por Lynch (2015) se estableció la mayor vulnerabilidad a una distancia de los edificios a la línea del litoral menor que los 50 metros y una vulnerabilidad muy baja sobre los 230 metros. Finalmente, la densidad poblacional corresponde a la concentración de población dentro de un área, que en este caso se considera en riesgo, se utilizaron los datos distritales disponibles, planteados por la diversidad de densidades encontrados en la región. Finalmente, la densidad poblacional se delimitó mediante un análisis de las diferentes densidades poblacionales encontradas en los distritos contiguos de las provincias de Talara, Contralmirante Villar, Paita y Sechura, según lo propuesto por Aguilar (2015).

4.3. Definición de las unidades de análisis (SAE's)

En esta investigación se comparó el índice de vulnerabilidad costera para tres sub-áreas de estudio del litoral del norte peruano. No existe información previa sobre la variabilidad de la línea de costa sobre esta zona. Esta AE ha sido dividida en tres sub-áreas de estudio para un mejor análisis y su detalle se encuentra en las Tablas 3 y 4. Se han elegido estas tres SAE debido a su importancia turística y socioeconómica de la región Piura y Tumbes.

La primera sub-área de estudio se localiza dentro del distrito de Los Órganos, se encuentra limitado al norte con el distrito de Máncora, al oeste con el océano pacifico, al sur con El Alto y al este con el distrito de Marcavelica, de la provincia de Sullana y se encuentra entre los paralelos 4° 10' sur y 81° 07' oeste. El distrito comprende un total de 165.01 km² y a un promedio de 3 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 3. Designación de sub-áreas de estudio. *Fuente: Elaboración propia.*

Área de estudio	Nombre de la playa	N.º del perfil	SAE a la que pertenece
Sur a Norte	Punta Veleros	Perfil 1	Los Órganos – SAE 1
		Perfil 2	
	Los Órganos	Perfil 3	
		Perfil 4	
	Vichayito	Perfil 5	
		Perfil 6	
		Perfil 7	
	Pocitas	Perfil 8	Máncora – SAE 2
		Perfil 9	
		Perfil 10	
	Máncora	Perfil 11	
		Perfil 12	
		Perfil 13	
		Perfil 14	
		Perfil 15	
		Perfil 16	
	El Bravo	Perfil 17	
	Punta Sal	Perfil 18	Punta Sal – SAE 3
		Perfil 19	
		Perfil 20	
		Perfil 21	
		Perfil 22	
	Cancas	Perfil 23	
		Perfil 24	

Para esta investigación, la SAE 1 comprende la zona litoral del distrito, delimitado por unidades geomorfológicas elegidas de sur a norte que forman la célula litoral, considerando el límite distrital con Máncora. Al este se delimita con la Panamericana Norte y al oeste con la línea del litoral, debido a la importancia de la vía nacional y su característica de principal acceso. Los puntos utilizados y sus coordenadas se encuentran en la Tabla 4. Más a detalle, esta SAE comprende, de sur a norte, las siguientes playas: Punta Veleros, Los Órganos y Vichayito. La SAE 2 comprende también la zona litoral del distrito, se encuentra delimitado por unidades geomorfológicas elegidas de sur a norte que forman la célula litoral, considerando el límite distrital con Los Órganos y Canoas de Punta Sal. Al este se delimita con la Panamericana Norte y al oeste con la línea del litoral, debido a la importancia de la vía nacional y su característica de principal acceso. Los puntos utilizados y sus coordenadas se encuentran en la Tabla 4 a continuación. Más a detalle, esta SAE comprende, de sur a norte, las siguientes playas: Pocitas, Máncora y El Bravo. Finalmente, la SAE 3, se delimita por unidades geomorfológicas elegidas de sur a norte que forman la célula litoral, considerando el límite distrital con Máncora. Al este se delimita con la Panamericana Norte y al oeste con la línea del litoral, debido a la importancia de la vía nacional y su característica de principal acceso. Los puntos utilizados y sus coordenadas se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 4. Coordenadas de puntos que delimitan las SAE's. *Fuente: Elaboración propia.*

SAE - 1	Latitud	Longitud
Sur	4° 10'42.93" Sur	81° 8'39.72" Oeste
Norte	4° 7'46.41" Sur	81° 6'3.07" Oeste
SAE - 2		
Sur	4° 7'46.41" Sur	81° 6'3.07" Oeste
Norte	3° 59'25.46" Sur	80° 59'19.96" Oeste
SAE - 3		
Sur	3° 59'25.46" Sur	80° 59'19.96" Oeste
Norte	3° 56'42.52" Sur	80° 56'23.58" Oeste

La caracterización de la zona de estudio comprende de información recogida previamente en gabinete y aquella recopilada de la salida de campo realizada del 4 al 10 de agosto de 2016. En esta salida se realizó el reconocimiento del área, la documentación fotográfica de las SAE's, el levantamiento de los perfiles de playa, el registro de las fichas litoral y la extracción de muestras de sedimento, además de sostener conversaciones con los pobladores. La información de fuentes secundarias para las tres SAE's consideradas dentro del área de estudio se obtuvo mediante el trabajo de gabinete. Se utilizaron herramientas como los Sistemas de Información Geográfica, en conjunto con las imágenes satelitales Landsat y Sentinel obtenidas del programa Google Earth y la base de datos Sentinel, para realizar un análisis espacio-temporal de toda el área de estudio. Por otro lado, datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) y del INGEMMET (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico) permitieron obtener datos indispensables para las variables utilizadas en IVC.

Los puntos para la recolección de datos en la ficha litoral, los perfiles de playa y el muestreo de sedimentos fueron planteados según los cambios en las unidades geomorfológicas y su tamaño, esto fue debido a que resulta más significativo tener al menos una muestra de cada segmento de la playa para caracterizar las unidades encontradas. En total se registraron 24 puntos en donde se realizaron los perfiles de playa y muestras de sedimentos, dentro de los 33 kilómetros de costa que conforman el área de estudio, dividido aproximadamente en las tres zonas que conforman las SAE's. Se utilizó una ficha litoral para realizar un levantamiento detallado de la zona de estudio y tomar mediciones simples, esta sirve para hacer énfasis en la descripción y reconocimiento de la geomorfología del litoral de la zona de estudio, además de describir aspectos socioeconómicos, distancia de las estructuras a la costa y otras informaciones o comentarios de interés. Respecto a la estructura, esta consta de tres partes: la primera parte sirve para poner los datos del lugar en donde se está realizando la toma de datos, su código respectivo, las coordenadas geográficas y la fecha y hora. La segunda parte de la ficha recoge información sobre la morfología de la playa, como es la orientación. Una vez caracterizada la zona de estudio, se determinaron las seis variables utilizadas en el IVC en esta investigación. Las variables son las siguientes: pendiente de playa, geomorfología, variabilidad de la línea de costa, densidad poblacional, uso de suelo y distancia de las estructuras a la costa.

4.4. Levantamiento de perfil y cálculo de pendiente de playa

La pendiente de una playa está considerada entre los factores o variables de mayor importancia en los métodos de índices de vulnerabilidad, debido a su susceptibilidad al aumento del nivel mar e inundaciones, así como para medir la rapidez del retroceso de la costa (Doukakis, 2009). Una

pendiente suave determina una alta vulnerabilidad mientras que pendientes pronunciadas, una baja vulnerabilidad. Esta información se obtuvo a partir de la medición en campo mediante el método de Emery (1962), en donde se obtiene la pendiente de un punto a través de la medición del perfil de una playa, para luego generar un promedio por playa y SAE.

El perfil de una playa es un corte topográfico transversal entre la playa posterior y la playa anterior (Aguilar, 2015). Según el método Emery (1961), la medición de las variaciones verticales y horizontales de una playa, reflejan el perfil de la playa (Figura 11). Este método, en este caso, se basa en mediciones con una varilla de 1.5 metros de largo con divisiones de 0.5 cm a lo largo, con estas varillas se delimita también una distancia horizontal de 1.5 metros a 3 metros (dependiendo del ancho de la playa, de la pendiente y de las irregularidades topográficas presentes) y se mide la diferencia vertical entre los dos puntos, para luego proseguir playa adentro. El punto de inicio para este método debe ser en un lugar que pueda ser fácilmente identificable y se mantenga a lo largo de los años (Emery, 1962), para que se pueda hacer otra toma de datos en el futuro. Esta información es recopilada en la ficha litoral en la cual se toman los datos de una manera sistematizada para tener datos cuantitativos uniformes. Se intentó en la mayoría de los casos realizar mediciones de 1.5 metros, sólo en los casos de playas más extensas con muy poco cambio de pendiente se realizaron mediciones cada 3 metros. Al realizar el perfil, este debe estar orientado de forma transversal a la playa, una de las balizas debe ser colocada en el punto de inicio y la segunda a una distancia recomendada de 1.5 metros de manera recta, para poder medir precisamente la variación vertical.

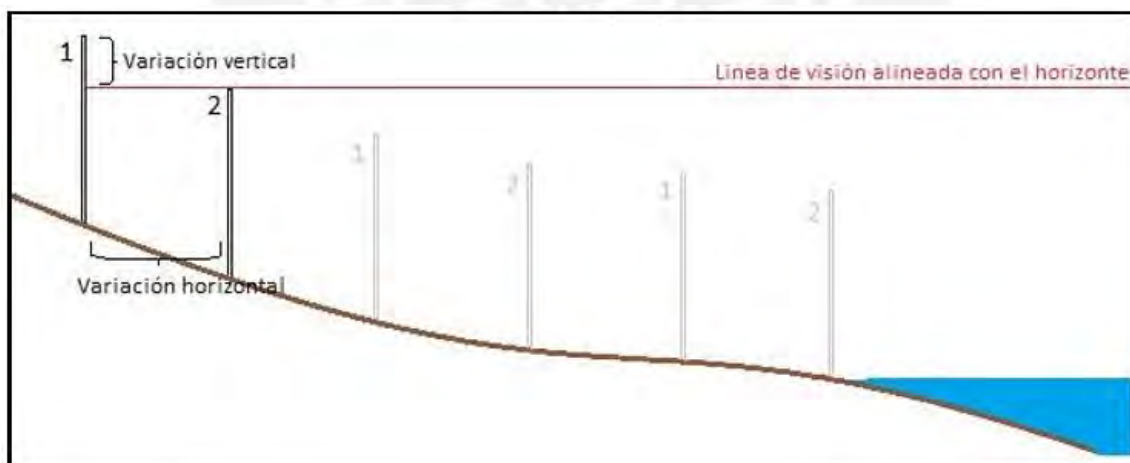


Figura 11. Método de balizas de Emery. Fuente: Lynch (2015).

De acuerdo a Emery, la persona que observa debe ver hacia al horizonte y alinear la baliza más baja de las dos, este alineamiento debe intersectar parte de la otra baliza. Luego se debe registrar el número marcado en esa baliza, que debe estar alineada con la parte superior de la otra baliza

y el horizonte. Es importante tener en cuenta que ambas balizas deben estar siempre verticales, además de tener en cuenta que algunas mediciones serán de la baliza 1 y en otras de la baliza 2, eso dependió si hay un aumento o caída del perfil. Para poder realizar este método, se debe contar con un grupo de al menos 3 personas, el observador principal y encargado de la primera baliza, un observador secundario que coloque la segunda baliza de manera vertical al suelo y mida cuando intercale con el observador principal y una persona que anote los resultados. La ubicación exacta de los perfiles realizados se puede encontrar en el compendio de fichas litorales en los anexos.

A partir de los datos de los perfiles de playa, se utilizan los datos de la variación horizontal (X) y la variación vertical (Y) (Figura 12), para de ellos calcular el ángulo de la pendiente del perfil de playa (α) utilizando la Ecuación 7:

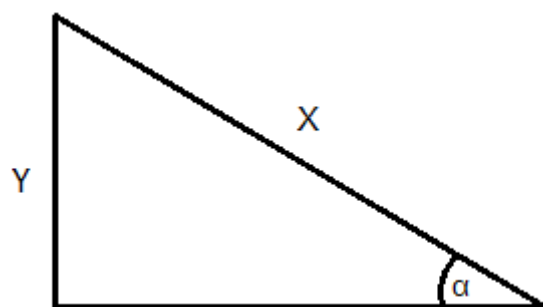


Figura 12. Triángulo para calcular el ángulo de la pendiente del perfil de playa. *Fuente: Elaboración propia.*

$$\text{sen } \alpha = \frac{Y}{X}$$

Ecuación 7. Calculo de ángulo de pendiente de perfil de playa. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

α = Angulo del perfil

X = Variación horizontal

Y = Variación vertical

4.5. Geomorfología y sedimentos

La geomorfología se encuentra estrechamente relacionada con erosión costera debido a los diferentes grados de erodabilidad de sus diferentes componentes (Doukakis, 2009 y Zujar en Tejada, 2008). Esta variable esta categorizada dentro de los rangos de vulnerabilidad dependiendo de las unidades geomorfológicas encontradas en la zona de estudio, siendo de vulnerabilidad baja los acantilados altos con costas rocosas y con vulnerabilidad alta las playas, estuarios, lagunas, entre otros.

Estos datos fueron recopilados mediante imágenes LANDSAT 8 TM con resolución de 30 metros, consulta de los mapas geológicos y geomorfológicos del INGEMMET (Instituto Geológico Minero Metalúrgico) y mediante comprobación en campo por observación, luego fueron registrados en la ficha litoral por playa individual y según SAE.

4.5.1. Sedimentos

Los sedimentos permiten caracterizar más a fondo las playas, debido a que permiten realizar un acercamiento a la dinámica de la playa y caracterizar sus sedimentos (Folk & Ward, 1957, Boggs, 2009). Además permite relacionar el tamaño de las partículas con la pendiente de la playa, en donde las pendientes más pronunciadas tiene sedimentos gruesos y las pendientes más suaves, sedimentos más finos (Wright y Short, 1983).

Las muestras de sedimento fueron recolectadas en la salida de campo, en la playa, en el punto entre la arena seca y la arena mojada (Folk & Ward, 1957), en el mismo lugar en el que se realizó el perfil de la playa con la finalidad de caracterizar detalladamente el punto donde se realizó la toma de datos. El análisis granulométrico de las muestras se realizó posteriormente en el laboratorio de química ambiental de la PUCP, en donde se aplicó una adaptación de la metodología sugerida por Folk & Ward (1957) y Boggs (2009) en donde se realiza un tamizado de cada muestra seca de sedimento individualmente en maquina tamizadora durante quince minutos, para separar los sedimentos por tamaño, para poder pesarlos y registrar esos datos. Luego se utilizó el programa GRADISTAT versión 4.0, elaborado por Blott & Pye (2000), en donde se introducen los pesos por tamaño de sedimentos para su procesamiento. Este programa, permite una caracterización de los sedimentos procesados por tamizado o laser granulométrico, mediante la entrada de masa (en gramos) o porcentaje detectado para su procesamiento estadístico a través del método de los momentos, para obtener datos como mediana, media, moda, desviación estándar, asimetría, entre otros, para luego calcular los parámetros de tamaño de granos aritmética, geoméricamente (en micrones) y logarítmicamente (en phi), de acuerdo a

Folk & Ward (Blott, 2000) otorgando el método gráfico de Folk & Ward (1957) y descripciones físicas de los sedimentos para su análisis.

Tabla 5. Tamaño de tamices en tamaño Phi y Micrones. *Fuente: Elaboración propia.*

Número	Phi	Micrones (μm)
1	- 1.0	2 000
2	0.0	1 000
3	0.5	710
4	1	500
5	1.5	355
6	2.0	250
7	2.5	180
8	3.0	125
9	3.5	90
10	4.0	63
11	≥ 4.0	≤ 63

Los pasos seguidos en el laboratorio fueron la preparación de muestras (Lavado y secado en horno) el pesaje de 50 gramos de la cada una de los puntos recolectados, el tamizado en maquina con 11 mallas de diferente tamaño en escala (Tabla 5), el pesaje de muestras según tamaño de sedimento y finalmente la eliminación y pesaje de los carbonatos, los detalles se encuentran en las figuras 13 y 14.

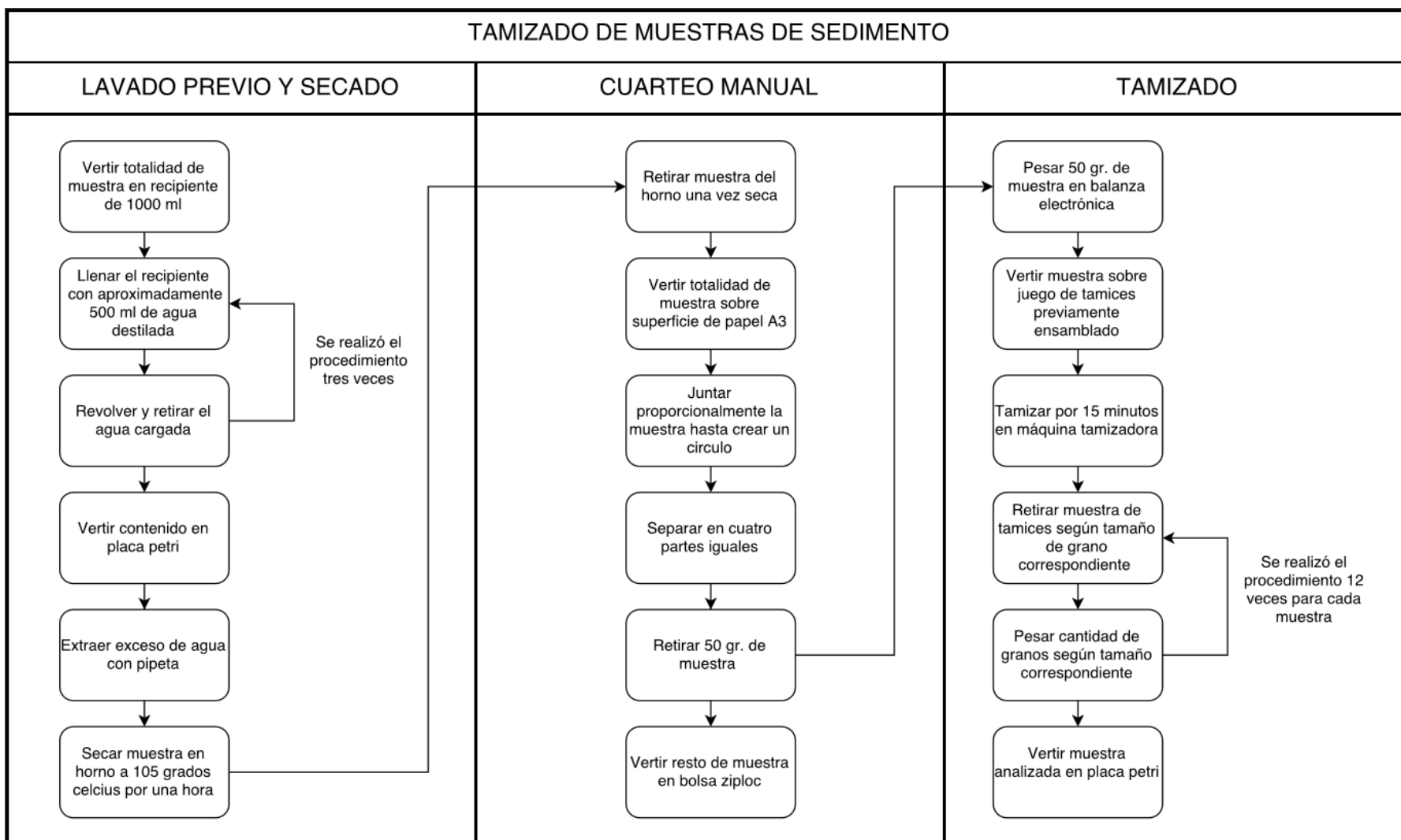


Figura 13. Flujograma de tamizado de muestras de sedimento en laboratorio. *Fuente: Elaboración propia.*

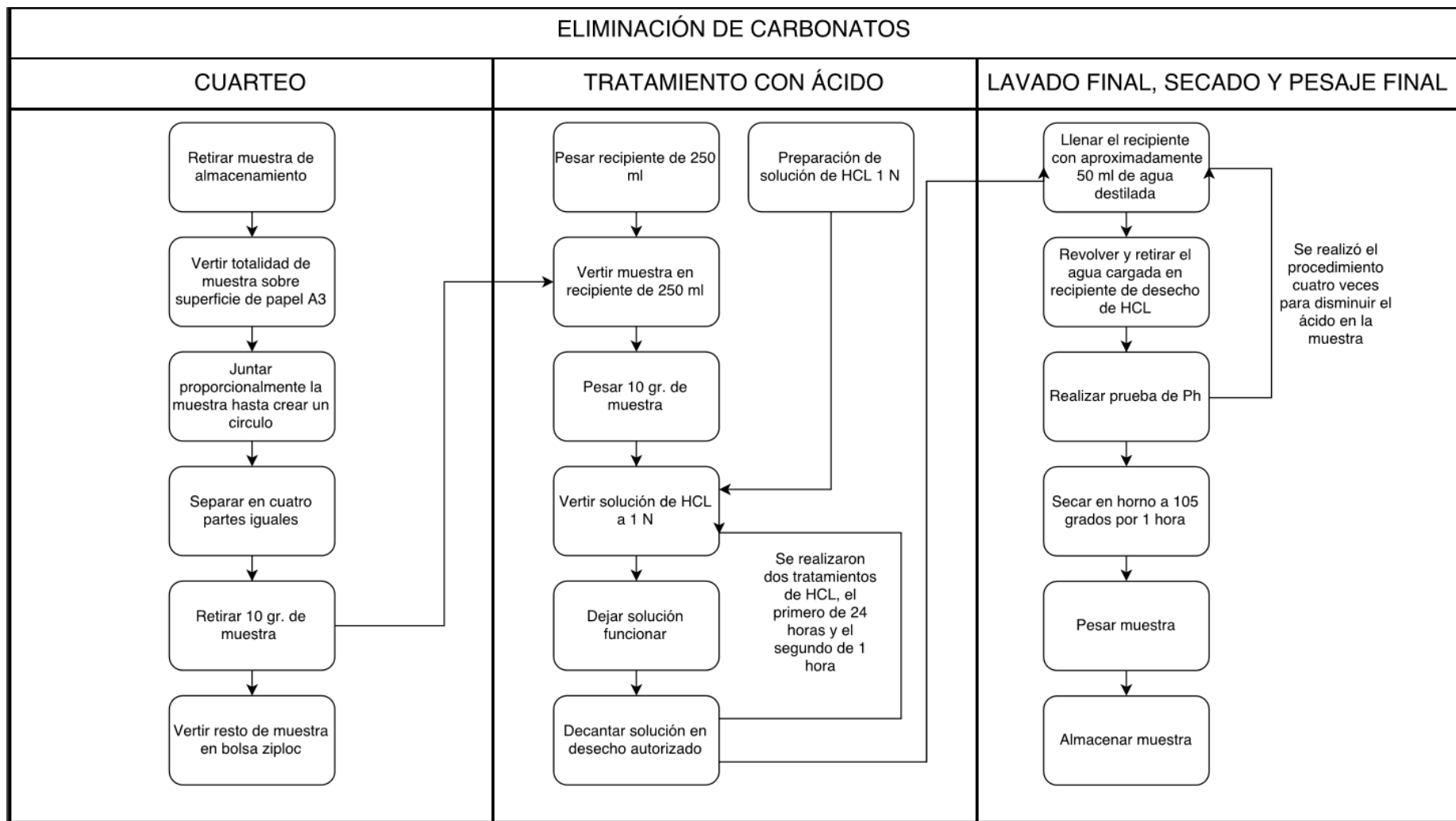


Figura 14. Eliminación de carbonatos en las muestras de sedimento. *Fuente: Elaboración propia*

4.6. El análisis espacio-temporal del cambio de la línea de costa

Se entiende al cambio de la línea de costa como el reconocimiento de sectores que han sufrido fenómenos de erosión o sedimentación a lo largo de una franja litoral y su evolución, mediante un análisis espacio-temporal (Nagewara et al., 2008). De acuerdo con Doukakis (2009), esta variable permite medir la tendencia pasada de la línea costera a retroceder o avanzar en respuesta al ANM o la erosión costera, la clasificación de esta variable depende del grado de estabilidad de la línea costera. Cuando el cambio de línea de costa es entre -1.0 y $+1.0$ m/año, se entiende como una estabilidad (Appeaning, 2013), por lo que se le cataloga una vulnerabilidad media. Cuando existe una tasa de evolución positiva en la línea litoral ($<+1.0$ m/año), se entiende como una sedimentación o acreción de la costa, mientras que cuando existe una tasa negativa o pérdida de franja costera (>-1.0 m/año), se conoce como erosión. El aumento o descenso de estos valores genera una mayor o menor vulnerabilidad, dependiendo del caso.

Para ello se utilizó la metodología de Thieler, Hammer Klose, et al. (1999 y 2000) en donde se deben tener diferentes imágenes de la zona de estudio en diferentes años.

Esta información se obtuvo directamente del trabajo de gabinete, sin necesidad de un trabajo u observación de campo debido a la falta de exactitud y escasez de temporalidad de una observación. Se utilizaron fotos aéreas provenientes del Instituto Geográfico Nacional (IGN) del año 1961 a una resolución de 1:60 000 e imágenes satelitales LANDSAT 8 TM con resolución de 30 metros, provenientes de Google Earth.

En primer lugar, las fotografías aéreas fueron georreferenciadas mediante el uso del software Arcmap (Sistema de Información Geográfica). Para ello, se digitalizó por escáner la foto aérea y se abrió en el software, luego se recortó el área de estudio y mediante la herramienta Georreferencing, se ubicaron 30 o más puntos de referencia para su georeferenciación. Estos puntos son el resultado de la comparación entre puntos comunes entre la fotografía aérea y el software de Google Earth, en donde se agregaron las coordenadas identificadas a la herramienta Georreferencing del software Arcmap. Dentro de esta herramienta se debe mantener el margen de error muy bajo, menor a 3 metros aproximadamente. Luego, la imagen pasa a ser rectificada mediante la herramienta Rectify. Una vez rectificada se debe definir el sistema de proyección y coordenadas, mediante la herramienta Define Projection en el Data Management tool.

El siguiente paso fue la orthocorrección de las imágenes aéreas georreferenciadas, con el propósito de corregir la distorsión que puedan tener las imágenes, y se realizó ingresando la

imagen en conjunto con un Modelo Digital de Elevación, mediante la herramienta Crear Dataset Orthocorregido.

Debido a que la zona de estudio abarca varias fotos aéreas, se generó un mosaico, en donde se unieron todas las fotos de formato raster (georreferenciadas y orthocorregidas) en un solo archivo (.tif). Para ello, se utilizaron las herramientas Mosaic y Mosaic to New Raster, de la herramienta Data Management. Una vez hecho el mosaico, se pasó a digitalizar la línea de costa. Está siempre debe ser considerada dentro del contexto temporal (Aguilar, 2015), para poder elegir un criterio de referencia para seguir el mismo modelo de procedimiento en todas las foto, siendo el nivel medio de la marea. Además, se digitalizó la costa teniendo como referencia el límite de área mojada con arena seca, según lo establecido por Zhang et al. (2004). Para ello se tuvo que definir el DATUM (Data espacial) del proyecto a WGS 84, crear un shapefile con el atributo Polylines y mediante la herramienta Sketch Tool, digitalizar la línea de costa sobre la foto aérea.

En segundo lugar, para las imágenes satelitales, la digitalización se realizó mediante el software Google Earth y la herramienta crear línea, nuevamente siguiendo el límite entre la arena seca y la mojada, siendo el resultado una línea de costa del año 2016, en formato .KML, el cual es convertido a formato .shp, a través del software Arcmap y su herramienta .KML to shape, para su procesamiento.

Mediante el software DSAS (Digital Shoreline Analysis System), herramienta de Arcgis, elaborado por Thieler et al. (2009), se hizo una comparación de las líneas de litoral de 1961 y 2016, superpuestas a una línea base arbitraria (Baseline) para determinar el movimiento neto de la línea de costa (Net Shoreline Movement – NSM) y la tasa de variación o punto final (End Point Rate – EPR), según el período de tiempo considerado, calculadas por transectos en intervalos constantes definidos por el usuario, (Aguilar, 2015). En esta investigación los transectos utilizados fueron 368, con una longitud de 100 metros y una separación de 100 metros entre cada uno. Además, se utilizaron estos datos de EPR y NSM debido a ser los más precisos y sencillos de aplicar con los datos proporcionados (dos fechas) (Milligan et al. en Tejada, 2017).

Finalmente, en esta investigación se clasificó la variable de línea de costa de acuerdo a Gornitz (1991 y 1994), en donde una variabilidad positiva de 2.1, mayor o igual, es clasificado con una vulnerabilidad muy baja y una variabilidad negativa de -2.0, menor o igual, es clasificado con una vulnerabilidad muy alta.

4.6.1. Margen de error

De acuerdo a Aguilar (2015), el margen de error estimado es un índice relacionado con la variación horizontal de la marea. Este dato se calcula a partir de los perfiles de playa y es necesario para examinar los resultados del análisis espacio-temporal de la línea de costa, debido a que este dato refleja el rango posible de la marea, por lo que si una variación se encuentra dentro del margen de error, puede ser debido a la variación natural de la marea. Según Rondón (2015), el desplazamiento horizontal de la marea sobre la playa es inversamente proporcional a la pendiente de la misma. Por ello, se alcanzan amplitudes mayores cuando existen pendientes suaves de arena fina y amplitudes menores con la presencia de pendientes pronunciadas y sedimentos de mayor tamaño.

A partir de los datos de los perfiles de playa y la amplitud máxima de la marea, se calculó el margen de error primario. Este resultado debe dividirse en la mitad para obtener un margen de error estimado, a través de la siguiente formula, según Rondón (2015):

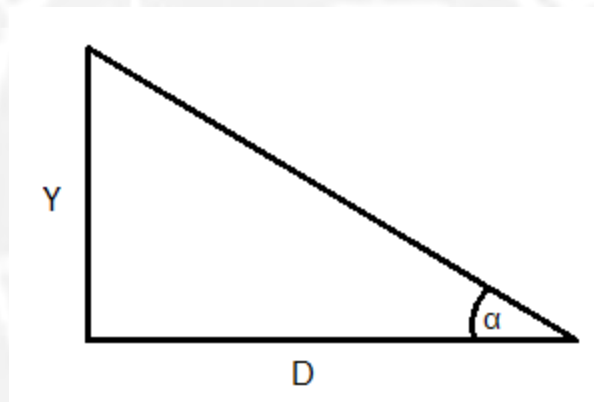


Figura 15. Triángulo para calcular la variación horizontal de la marea. *Fuente: Elaboración propia.*

$$\text{Tangente de } \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$$

Ecuación 8. Calculo de variación horizontal de la marea. *Fuente: Elaboración propia.*

Donde:

α = Angulo de pendiente de perfil

Y = Variación máxima histórica de la marea

D = Variación horizontal

Este resultado fue utilizado para reducir la cantidad de datos analizados para el análisis espacio temporal y fue utilizado en contraste con el EPR y obtener la mayor precisión en el análisis.

4.7. Distancia de las estructuras a la costa

Esta variable socioeconómica define la cercanía de las estructuras a la línea litoral, su importancia radica en su característica de proximidad de las construcciones humanas y su importancia económica o cultural (McLaughlin et al., 2002). Debido a esa importancia, existen normas y legislaciones para el control de las construcciones cercanas a la línea litoral, no sólo por protección, sino también por su característica de propiedad pública e intangible (Ley de Playas, N.26856) para el uso recreativo de la sociedad y permitir que se desarrollen los procesos naturales de la dinámica costera que podrían afectar a las personas y estas construcciones. Esta ley, entiende a las playas como el área de costa plana y descubierta con declive suave hacia el mar, compuesta de arena o piedra, canto rodado o arena entremezclada con fango, de un ancho no menor de 50 metros de ancho paralela a la línea de alta marea, (Ley de Playas, 1997).

Para medir esta variable se utilizó el dispositivo GPS para medir el ancho de playa en cada punto, luego se generó un promedio de las distancias obtenidas por cada playa, para luego obtener un promedio por SAE, se optó por este método debido a la característica de ser estructuras estáticas georreferenciables, mediciones uniformes e información obtenida en campo.

Por último, para la clasificación de la variable, se utilizaron las distancias referidas a la Ley de Playas, la cual establece que se considera una zona de dominio restringido la franja de 200 metros, en continuación de la franja de 50 metros de playa, por ello, una infraestructura con una distancia menor a 50 metros se clasifica con una vulnerabilidad muy alta y una distancia mayor a 250 metros, una vulnerabilidad muy baja.

4.8. Uso de suelo cercano a la costa

De acuerdo con McLaughlin et al. (2002), la protección y categorización de un área como “vulnerable” solo puede ser considerada si esa área es lo suficientemente importante en términos económicos, culturales o ambientales, para poder justificar su protección. En muchos casos debido al costo monetario de la tierra, de la reconstrucción, etc.

Esta variable socioeconómica fue definida por el uso dado al suelo de las primeras infraestructuras antrópicas observadas en los puntos de muestreo de datos y su relevancia recae en la importancia económica, según lo establecido por McLaughlin, (2002). Por ello, se clasificaron las zonas por su importancia económica, en donde cuerpos de agua, áreas con poca

vegetación o zonas con rocas representan una vulnerabilidad muy baja y zonas con infraestructura urbana o industrial una vulnerabilidad muy alta.

4.9. Densidad poblacional

La población es una variable que tiene una estrecha relación con la vulnerabilidad, zonas con mayor población son propensas a ser más vulnerables y zonas con menor población tienden a ser menos vulnerables (McLaughlin, 2002), debido a su valor social y económico. De acuerdo con Dilley y Rasid (1990) y Devoy, (1992) en McLaughlin (2002), las poblaciones más densamente pobladas tienen más tendencia a invertir para proteger sus propiedades de la erosión, debido a la inversión en tiempo y dinero y a no querer perder sus posesiones.

En esta investigación, la densidad poblacional fue calculada a partir de la población total de cada distrito, según el censo 2007, entre la superficie total del distrito (km^2), a través del software Arcmap, mediante la calculadora de campos. Se escogió esta metodología debido a la falta de datos de población por manzana y debido al hecho que casi toda la población de los distritos es urbana, se encuentran en estas ciudades y estas se ubican en la franja litoral.

Para la clasificación de esta variable se utilizaron de referencia los valores de densidad poblacional de los varios distritos costeros aledaños a la zona de estudio del departamento de Lambayeque, Piura y Tumbes, con la finalidad de tener valores comparativos de zonas cercanas. Se clasificó con una vulnerabilidad muy alta las SAE's con 100 hab/ km^2 o más y con una vulnerabilidad muy baja aquellas SAE's con 25 hab/ km^2 o menos. Se decidió por este método debido a la abismal diferencia de densidad poblacional en otros lugares costeros como Lima, Chiclayo, Trujillo y a la baja cantidad de población en los distritos estudiados.

4.10. Aplicación del índice de vulnerabilidad costera

Las variables mencionadas en el acápite anterior, 3 variables físicas y 3 variables socio-económicas, fueron utilizadas para elaborar el resultado del IVC que permite identificar las SAE's más vulnerables dentro de la zona de estudio a la erosión costera y el aumento del nivel del mar.

A cada una de las variables se le asignó un valor basado en su contribución a la creación de vulnerabilidad costera en cada punto, para luego generar un promedio por SAE. Esta puntuación va de 1 al 5, de acuerdo a su nivel (muy baja a muy alta vulnerabilidad) y sus rangos varían dependiendo de las características de las áreas de estudio. Luego de ingresar los puntajes correspondientes a cada variable, se obtiene la vulnerabilidad según variable, para luego ser ingresados a la ecuación de IVC, de acuerdo a lo propuesto por Gornitz (1997).

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

Ecuación 9. Cálculo del índice de vulnerabilidad costera. *Fuente: Elaboración propia.*

En donde a: pendiente de la playa, b: Geomorfología/geología, c: cambio de la línea de costa, d: distancia de las estructuras a la línea de costa, e: uso de suelo cercano a la costa, f: densidad poblacional. Se decidió utilizar sólo seis variables debido a la disponibilidad de información, tanto bibliográfico como de campo y la ecuación basada en el IVC 5 (Ecuación 4) debido a ser el modelo clásico más utilizado.

Finalmente, para mantener una uniformidad en los rangos de vulnerabilidad, en esta investigación se clasificaron los posibles resultados mínimos y máximos y fueron divididos en quintiles, (0 % – 20 %, 21 % – 40 %, 41 % – 60 %, 61 % - 80 % y 81 % - 100 %) con la finalidad de posicionar los resultados totales en su categoría respectiva. De acuerdo con Zujar et al. (2008) en Tejada (2016), este resultado y todos los pasos previos utilizados en el análisis espacial han generado una Geodatabase en el software Arcmap, por lo que se procedió a generar mapas.

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los principales resultados de esta investigación. Esta información consiste en la caracterización física y socioeconómica de la zona de estudio, de donde se seleccionaron las variables definitivas: pendiente de playa, geomorfología, variabilidad de línea de costa, uso de suelo, distancia de las infraestructuras a la costa y densidad poblacional. Además, se presenta la información de la aplicación del IVC en la zona de estudio y los principales resultados.

5.1. Variables definitivas

5.1.1 Pendiente

Para poder determinar los valores de la pendiente de cada playa, primero se deben analizar los resultados de los perfiles de playa. Por ello, en este subcapítulo se verán primero los perfiles de playa realizados, para finalizar con los resultados de las pendientes por playa y sub-área de estudio. Se realizaron 24 perfiles de playa recopilados mediante el método Emery en la salida de campo del mes de Agosto, para representar las características de cada SAE, así como de toda la zona de estudio. Además, se realizó una descripción de los lugares en donde se realizaron la toma de estos datos, las cuales son de acceso público y se pueden acceder a pie.

5.1.1.1 Perfiles de las playas

Los perfiles de playa fueron levantados con el fin de caracterizar la geomorfología y las pendientes de las playas a lo largo de toda la zona de estudio. En todos los casos, se midieron los perfiles hasta dentro de la playa interior, aproximadamente 1.5 metros de altura dentro del mar, anotando el punto de contacto entre la arena seca y mojada (Emery, 1961). A continuación, se presenta la Figura 16, la ubicación de los 24 perfiles levantados. La ausencia de información en Canoas de Punta Sal se debió a que la zona es conocida por robos y asaltos; sin embargo, la falta de datos es irrelevante porque no hay edificaciones ni presencia humana por el momento. A continuación se detallan los resultados recopilados.

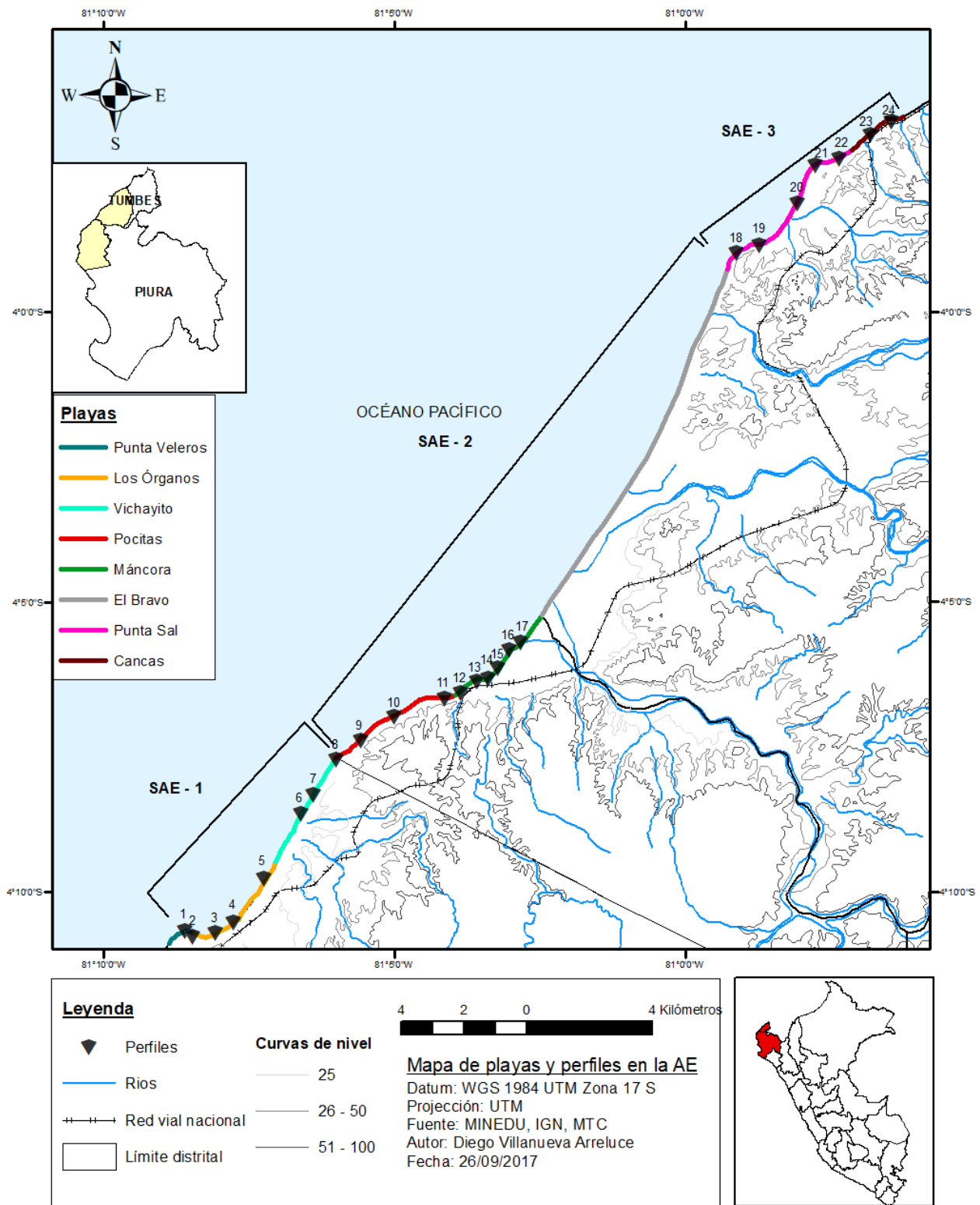


Figura 16. Mapa de ubicación de playas y perfiles. Fuente: Elaboración propia

- SAE 1

Dentro de esta zona se encuentran las playas de Punta Veleros, Los Órganos y Vichayito, en donde se recopilaron los perfiles 1 al 7.

- Punta Veleros

En el extremo sur de la zona de estudio, de acuerdo con la Figura 16, se ubica la playa de Punta Veleros, delimitada por todas las construcciones encontradas alrededor y encima de esta formación geomorfológica de tres grandes puntas con un acantilado primario, cuya extensión de aproximadamente 650 metros de ancho de sur a norte sobresale más o menos 200 metros de este a oeste del lado izquierdo de Los Órganos (Figura 17). El área todavía tiene pocas residencias sobre el acantilado, pero estas cuentan con accesos hacia la zona baja y sur de la playa de Punta Veleros, donde existen más accesos construidos hacia Los Órganos, donde las playas se unen; la construcción de las casas es sólida, pero la marea tiende a subir y llega a algunas edificaciones y lotes que se encuentran próxima a la orilla del mar, los cuales suelen estar preparados para la acción de las olas.



Figura 17. Tablazo erosionado de Punta Veleros. *Fuente: (fotografía tomada en la salida de campo)*

En la playa norte de Punta Veleros, al extremo sur del acantilado, se elaboraron los perfiles 1 y 2 (Figura 18), ambos puntos presentan una orientación norte. En el perfil 1 la extensión de la playa fue de 50.5 metros, con el contacto con la arena mojada a los 33 metros, esta es la distancia de los edificios fue la misma, en su mayoría de tipo residencial. Se caracterizó por ser un perfil erosivo, la presencia de una barra de piedras grandes dentro del agua y sedimentos compuestos de arena fina (Folk y Ward, 1957). El perfil 2 cuenta con un ancho de playa de 52 metros, el contacto con la arena mojada fue a los 37.50 metros, igual a la distancia de los edificios a la línea costera, en este caso la urbanización. De acuerdo a la clasificación textural de Folk y Ward (1957), este perfil se caracterizó por ser de un sedimento de tipo arena fina y un perfil sedimentario. No se encontraron cúspides en ninguno de los puntos.

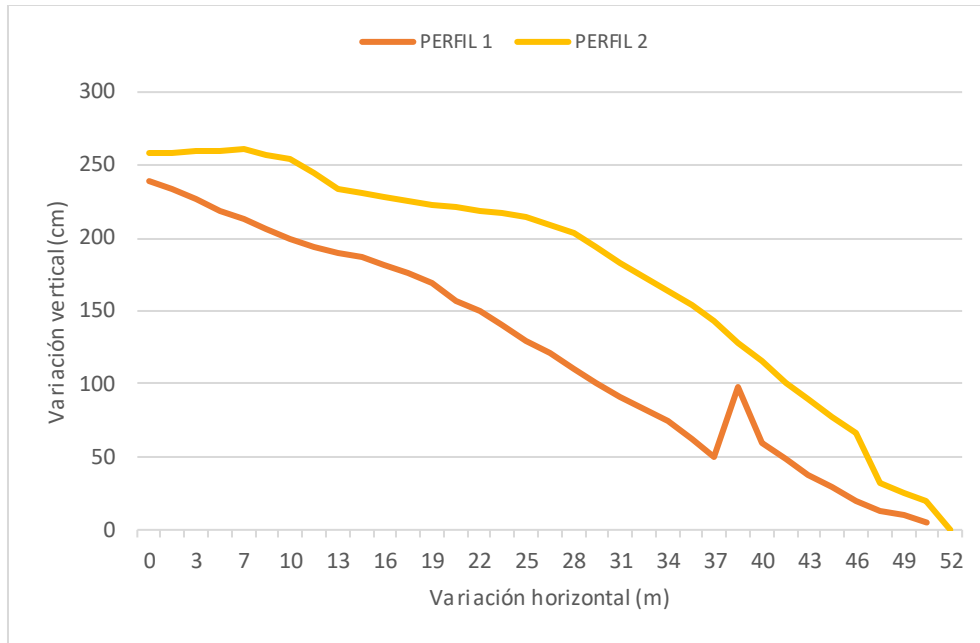


Figura 18. Perfiles de Punta Veleros. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

- Los Órganos

Hacia el norte, se encuentra el pueblo de Los Órganos (Figura 19), capital de distrito en donde los restaurantes que sirven la comida en la playa son lo más común en la infraestructura, seguido de bares, hoteles, hostales y otros servicios. Se caracteriza por ser el balneario con más concentración y afluencia de personas en la SAE 1. Esta zona es la confluencia de la zona norte del acantilado muerto de Punta Veleros con un abanico fluvial seco, en el cual se ha desarrollado parte de la playa y el pueblo de Los Órganos.



Figura 19. Playa Sur de Los Órganos. Fuente: (fotografía tomada en la salida de campo)

En esta playa se elaboraron los perfiles 3 y 4 (Figura 20), ambos puntos presentan una orientación noroeste. El perfil 3 cuenta con una extensión de playa de 37 metros, la zona de arena mojada se encontró a los 21 metros de iniciado el perfil, esta distancia es igual a la distancia de los edificios, en este caso residencias y un malecón urbano. Se caracterizó por ser un perfil erosivo con un ancho de playa pequeño y sedimentos de arena fina (Folk y Ward, 1957).

El perfil 4 tuvo una extensión de playa de 109 metros, a los 90 metros de iniciado el perfil se encontró el contacto con la arena mojada, esta distancia es igual a la distancia de los edificios, en esta zona, de tipo residencial. Se caracterizó por un perfil sedimentario y un gran ancho de playa (el más grande de toda la SAE 1) y la presencia de sedimentos de tipo arena fina, de acuerdo con la clasificación de Folk y Ward (1957). Hasta el momento no se han encontrado cúspides en la zona.

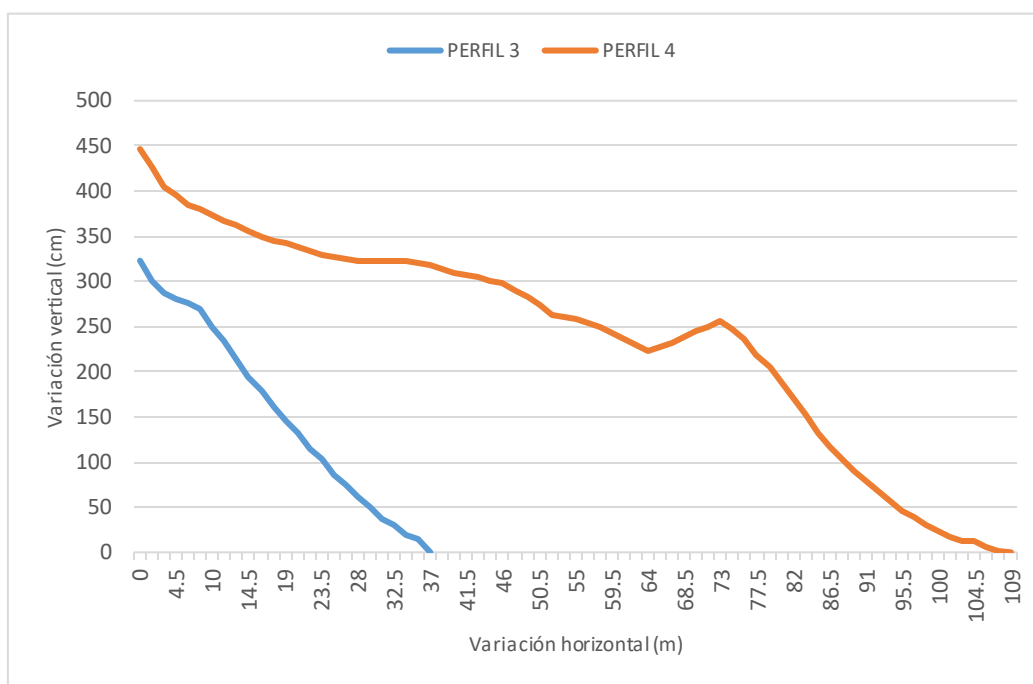


Figura 20. Perfiles de Los Órganos. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

- Vichayito

La playa Vichayito (Figura 21) se encuentra en el sector final, de sur a norte, del depósito fluvial del río Los Órganos. Se encuentra dentro de la misma unidad geomorfológica que Los Órganos, pero sin la presencia de la punta rocosa de punta veleros y bajo la influencia de la zona rocosa del norte en donde se encuentra la playa Pocitas. Esta playa se caracteriza por tener viento fuerte y dunas eólicas con vegetación. Vichayito se conecta con las playas de más al norte, como Pocitas y Máncora, pero no tiene conexión directa con Los Órganos cerca de la playa, aunque existen vías alternativas tierra adentro.



Figura 21. Playa aluvial de Vichayito. Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.

En la playa Vichayito se elaboraron los perfiles 5, 6 y 7 (Figura 22), todos los puntos presentan una orientación noroeste. La extensión de la playa del perfil 5 fue de 76 metros y se encontró el contacto con la arena mojada a los 36 metros de iniciado el perfil, igual a la distancia de los edificios, de tipo variado. Se caracterizó este perfil por ser de tipo erosivo y estar compuestos de arena fina, de acuerdo con la clasificación de Folk y Ward (1957). Por otro lado en el perfil 6, la extensión de la playa fue de 65.5 metros, a los 40.5 metros se encontró el contacto con la arena mojada, nuevamente la misma distancia que los edificios a la costa, de uso residencial. Este perfil se caracterizó por ser de tipo sedimentario, compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957) y la presencia de un canal de agua formado por una barra de sedimentos. El perfil 7, tuvo un ancho de playa de 74.5 metros y se encontró el contacto con la arena mojada a los 37.5 metros de iniciado el perfil, la misma distancia a la infraestructuras. Se caracterizó por ser un perfil erosivo, con sedimentos de arena fina (Folk y Ward, 1957) y por tener una suave pendiente, en donde se encontró una depresión formada por una barra mar adentro.

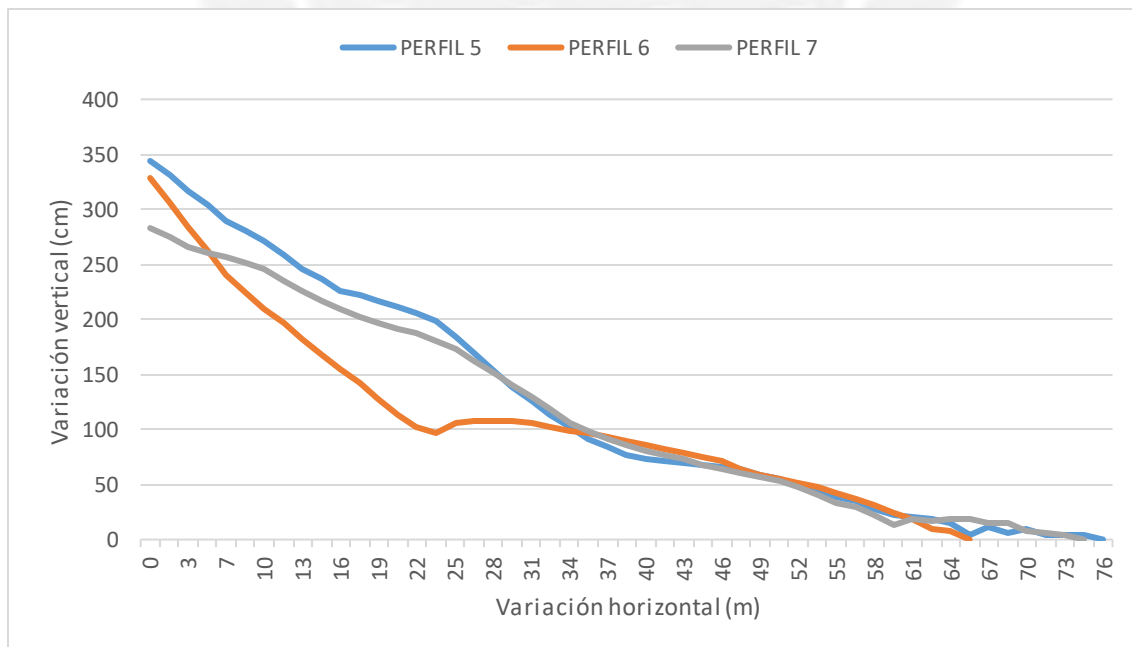


Figura 22. Perfiles de Vichayito. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

- SAE 2

La segunda zona de investigación (SAE – 2) comprende y se caracteriza físicamente, siguiendo el orden de sur a norte, por las siguientes formaciones generales: una zona de acantilado muerto con punta rocosa y una extensa planicie aluvial cubiertas con dunas eólicas. Dentro de esta zona se encuentran la playa de Pocitas, Máncora y El Bravo, en donde se recopilaron los perfiles 8 al 17.

- Pocitas

Siguiendo la continuidad de la de la Figura 16, se encuentra un área de acantilado muerto con una serie de punta rocosa con planicies marinas que da lugar a la playa Pocitas (Figura 23). Esta cuenta con una extensión mediana (aproximadamente 1.5 km de largo) y poco ancho de playa. Además, se caracteriza por la presencia de rocas de tamaño variado (más grandes al norte que al sur) y plataformas marinas, cuyo ángulo de inclinación ha sido alterado, lo que genera barreras naturales en donde se empoza el agua y por lo cual lleva su nombre la playa. La zona cuenta con una gran cantidad de casas privadas, conectadas mediante una avenida principal larga de dos carriles para ambos sentidos.



Figura 23. Erosión en Pocitas. *Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.*

En la playa de Pocitas se elaboraron los perfiles 8, 9 y 10 (Figura 24), en donde el primer punto presenta una orientación oeste/noroeste y los puntos restantes, orientación Noroeste. En el perfil 8, la extensión de la playa fue de 50.5 metros, la distancia hasta la arena mojada fue de 15 metros una vez iniciado el perfil, siendo la misma distancia de los edificios al litoral, siendo estos de tipo residencial y con hostales pequeños. Se caracterizó por ser un perfil erosivo, compuesto por sedimentos de arena fina, de acuerdo con la clasificación de (Folk y Ward, 1957) la presencia de rocas de medio metro o más y una pendiente suave. El perfil 9 cuenta con un ancho de playa de 26.5 metros, el contacto con la arena mojada se observó a una distancia de 10.5 metros del inicio del perfil, igual a la distancia de los edificios a la línea costera, de tipo residencial y comercial. Se caracterizó por ser el perfil más erosivo encontrado en esta playa, compuesto de arena media

(Folk y Ward, 1957). Por otro lado, el perfil 10 cuenta con un ancho de playa de 46 metros y la arena mojada se encontró a los 28.5 metros de inicio del perfil, igual que las edificaciones del lugar. Estas fueron de tipo residencial y comercial, e incluye hoteles y restaurantes. Se caracterizó por ser el único perfil sedimentario de la playa de Pocitas, compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957), en esta playa no se encontraron cúspides en ninguno de sus puntos.

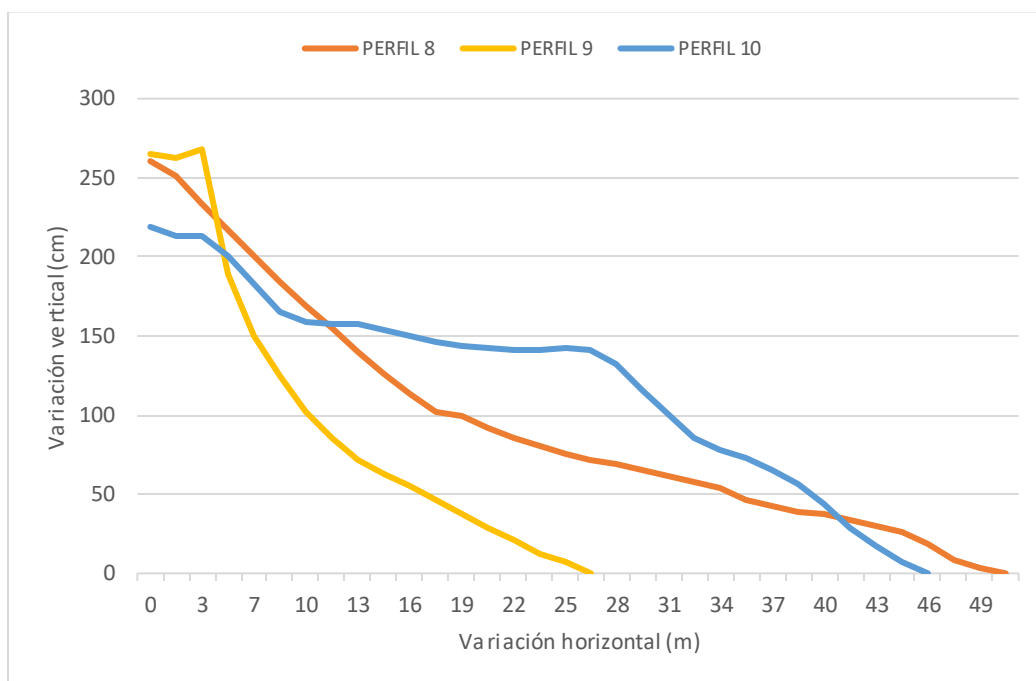


Figura 24. Perfiles de Pocitas. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

- Máncora

Prosiguiendo hacia el norte se encuentra el balneario de Máncora (Figura 25) constituido por sedimentos provenientes del río Máncora, que a lo largo de muchos años ha creado una planicie aluvial más grande que la desarrollada en Los Órganos, por lo que el ancho de la playa es el mayor de la zona de estudio (1 kilómetro). Esta formación se encuentra circunscrita por la punta rocosa de Pocitas al sur, un conjunto de acantilados muertos al este, el río Máncora al centro y la punta rocosa de Punta Sal al norte. Debido a la extensión de la playa, la urbanización se concentra cerca de la punta del sur (Pocitas) y disminuye hacia el norte, en la desembocadura del río y la playa El Bravo. El pueblo de Máncora se caracteriza por ser el balneario con más concentración y afluencia de personas no sólo de la SAE – 2, sino de toda la zona de estudio, se caracteriza también por el desarrollo desordenado de diferentes actividades económicas, como los restaurantes, hoteles y actividades en el mar. El malecón que decora y sirve de barrera con

el mar está destruido por la erosión costera debido a la dinámica de las olas. La marea sube en la tarde y afecta considerablemente no solo el malecón, sino también los negocios que se encuentran detrás de él, pues el agua se infiltra y se genera un gran charco.



Figura 25. Playa principal y malecón de Máncora. *Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.*

En la playa de Máncora se levantaron los perfiles 11 al 16 (Figura 26), que tienen una orientación entre norte y noroeste. En el perfil 11 la extensión de la playa fue de 31 metros, la distancia hasta la arena mojada fue de 12 metros, igual a la distancia de los edificios, en este caso el lado izquierdo del muelle de Máncora, residencias y hostales. Este perfil se caracterizó por ser erosivo, con sedimentos de arena fina (Folk y Ward, 1957), con una barra que genera una gran pendiente. Por otro lado, el perfil 12 presenta una extensión de playa de 34 metros, la distancia hasta la arena mojada es de 15 metros de iniciado al perfil, y cuenta nuevamente con la misma distancia que los edificios a la costa, de uso comercial (hostales y hoteles) y residencial. Este perfil se caracterizó por ser de tipo erosivo, de arena media (Folk y Ward, 1957) con un gran cambio de altura. El perfil 13 presentó un ancho de playa de 58 metros, la distancia hasta la arena mojada fue de 40.5 metros, con sedimentos compuestos de acuerdo a Folk y Ward (1957), de arena fina. En este perfil no existen infraestructuras, presenta una amplia berma y una barra y canal mar adentro. Por otro lado, el perfil 14 presentó una longitud de 26.5 metros, se encontró el contacto con la arena mojada a los 10.5 metros, la misma distancia de los edificios a la costa, en este caso, infraestructura de tipo comercial. Este perfil se caracterizó por ser del tipo erosivo de arena fina (Folk y Ward, 1957), con un gran cambio de altura, corto ancho horizontal del perfil y la presencia del malecón de Máncora. En el perfil 15 la extensión de playa fue de 38.5 metros y la distancia hasta la arena mojada fue de 22.5 metros, esta distancia coincide con los edificios a la costa, que en su mayoría son de tipo residencial y lotes en venta. Se caracterizó por la presencia de una berma angosta y un perfil erosivo compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957). Más al norte se realizó el perfil 16, que contó con un ancho de playa de 31 metros, la distancia hasta la arena mojada fue de 9 metros del inicio del perfil. Esta distancia coincide con los edificios más próximos a la línea litoral, que en este caso son restaurantes, hoteles y lotes, se caracterizó por ser un perfil erosivo, compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957).

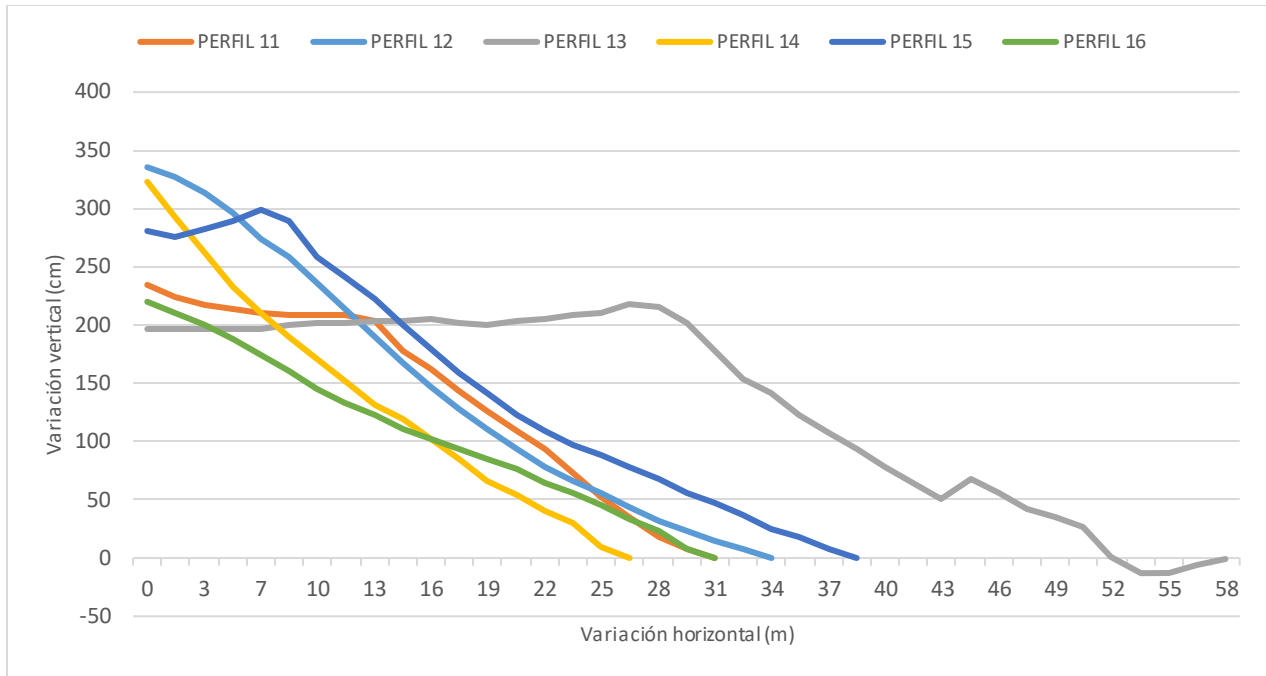


Figura 26. Perfiles de Máncora. *Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia*

- El Bravo

La playa El Bravo (Figura 27) puede considerarse una extensión de la playa de Máncora, ya que se encuentra dentro de la misma unidad geomorfológica. La única diferencia es que carece de construcciones antrópicas, accesos y servicios, pero es gracias a ello que se puede apreciar la presencia de dunas litorales con vegetación, debido a la acción eólica.



Figura 27. Dunas en desembocadura de río Máncora - El Bravo. *Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.*

En la playa El Bravo se levantó el perfil 17 (Figura 28), único de la zona debido a razones ya mencionadas, presentó un ancho de playa de 44.5 metros, la distancia con la arena mojada se encontró a los 22.5 metros de iniciado el perfil y no se encontraron infraestructuras. Este perfil se caracterizó por su arena fina (Folk y Ward, 1957), la presencia de cúspides y ser de tipo

deposicional, debido a la presencia de dunas eólicas, además de una barra de sedimentos mar adentro.

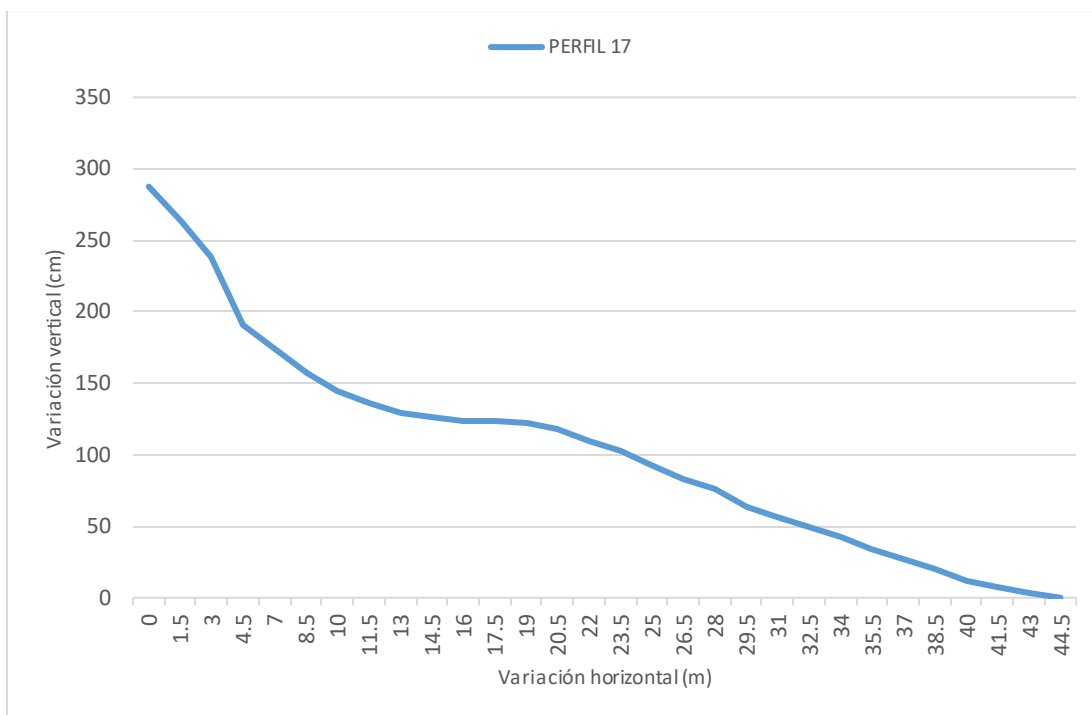


Figura 28. Perfiles de El Bravo. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

- SAE 3

En la última sub área de Punta Sal (SAE – 3) se encuentran y caracterizan nuevamente físicamente de sur a norte, las siguientes unidades geomorfológicas: una serie de puntas rocosas interconectadas por bahías, una llanura aluvial seca, una punta rocosa y una pequeña bahía. Dentro de esta zona se encuentran las playas de Punta Sal y Cancas, en donde se recopilieron los perfiles 18 al 24.

- Punta Sal

Casi terminando el área de estudio, Punta Sal (Figura 29) se caracteriza de sur a norte por ser playas dentro de dos puntas rocosas cubiertas por sedimentos eólicos debido a los fuertes vientos y el aporte de quebradas inactivas, donde se ha desarrollado el pueblo de Punta Sal y hoteles exclusivos como el Decameron de Punta Sal y, el Hotel Club de Punta Sal, ubicado más al norte.



Figura 29. Pueblo de Punta Sal. *Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.*

En las playas de Punta Sal se elaboraron los perfiles 18 al 22 (Figura 30), estos muestran una orientación predominantemente de noroeste a norte. En el perfil 18 la extensión de la playa fue de 29.5 metros, la distancia hasta la arena mojada en este perfil fue a los 16.5 metros de iniciado el perfil, esta es igual a la distancia de los edificios a la línea litoral, en este caso residencias, hostales y restaurantes. Este perfil se caracterizó por ser sedimentario de arena media (Folk y Ward, 1957), con pequeño ancho de perfil de playa. El perfil 19 contó con una extensión de la playa de 35.5 metros, el punto de contacto con la arena mojada y la distancia de los edificios a la costa fue a los 21 metros, su uso es comercial (hoteles y restaurantes). Este perfil se caracterizó por ser de tipo erosivo, compuesto de arena media con una gran barra que genera un cambio brusco de altura. El perfil 20, presentó un ancho de playa de 101.5 metros, el contacto con la arena mojada fue a los 84 metros y solo se encontró una infraestructura, el hotel Decameron. Se caracterizó por ser su perfil largo y sedimentario, de arena fina (Folk y Ward, 1957), con la presencia de una barra de sedimentos. Por otro lado, el perfil 21 presentó un ancho de playa de 74.5 metros y una distancia hasta la arena mojada a los 54 metros de iniciado el perfil. Se encontraron infraestructuras de efluente de quebradas, es decir un canal de drenaje en caso de huaycos o deslizamientos (Figura 31). Este perfil se caracterizó por ser de tipo sedimentario compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957), con la presencia de una pequeña barra mar adentro y una suave pendiente. En el perfil 22, la extensión de playa fue de 47.5 metros y la distancia hasta la arena mojada fue de 25.5 metros, esta coincide con los edificios a la costa, que en este caso fue el hotel Club de Punta Sal. Se caracterizó por un perfil erosivo de arena fina (Folk y Ward, 1957) con una fuerte pendiente y la presencia de una barra de sedimentos en la zona de arena seca.

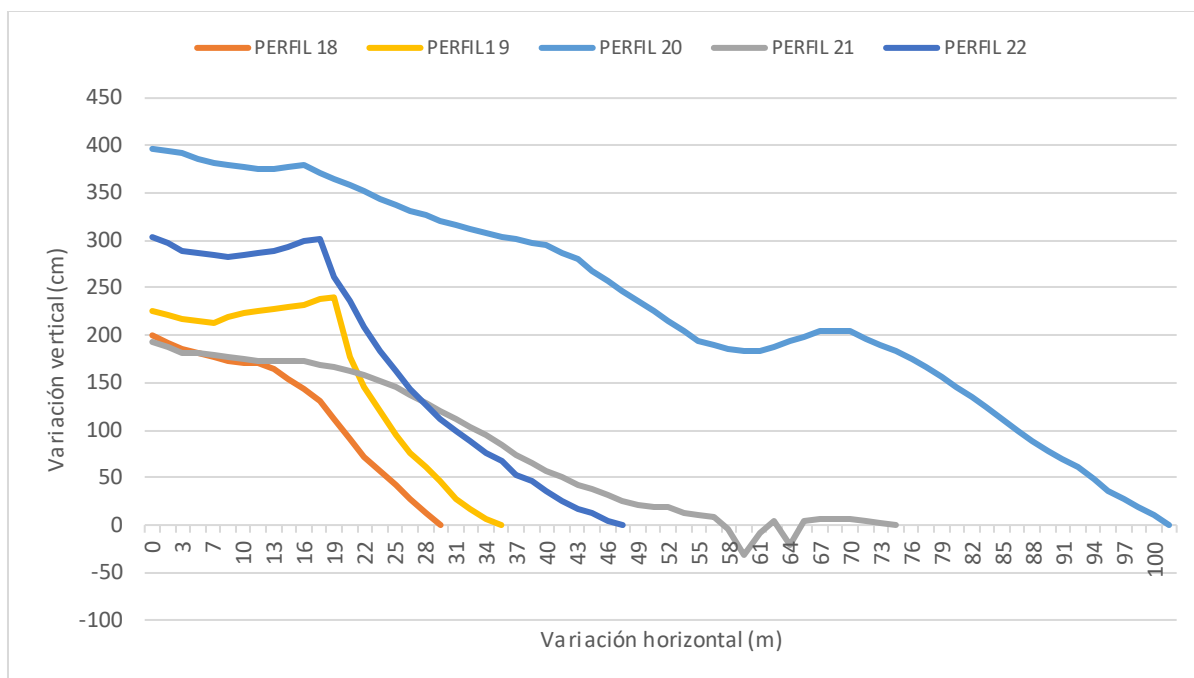


Figura 30. Perfiles de Punta Sal. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia.



Figura 31. Canal de drenaje para efluentes de quebradas. Fuente: Fotografía tomada en salida de campo.

- Cancas

El área de Cancas (Figura 32) se caracteriza por la presencia de una punta rocosa y una bahía con una mezcla de plataformas marinas, rocas de tamaño variado y formaciones eólicas. En

esta bahía se ha desarrollado el pueblo y muelle de Cancas, en donde se encuentra una afluencia de personas dedicadas a las actividades artesanales.



Figura 32. La bahía de Cancas. Fuente: Fotografía tomada en la salida de campo.

En la playa de Cancas se levantaron los perfiles 23 y 24 (Figura 33), en donde el primer punto presenta una orientación noroeste y el segundo, orientación Norte. El perfil 23, presentó una extensión de la playa de 74.5 metros y una distancia de 39 metros hasta la arena mojada, una vez iniciado el perfil, esta longitud es la misma para la infraestructura, siendo de tipo residencial, con un malecón y una cancha de fútbol. Se caracterizó por ser un perfil sedimentario compuesto de arena fina (Folk y Ward, 1957). El perfil 24 contaba con un ancho de playa de 59.5 metros con una distancia de 22.5 metros hasta la arena mojada, igual a la distancia de los edificios a la línea costera, de tipo residencial y comercial (muelle de Cancas). Se caracterizó por ser un perfil erosivo de arena media (Folk y Ward, 1957) y la presencia de grandes rocas y terrazas marinas.

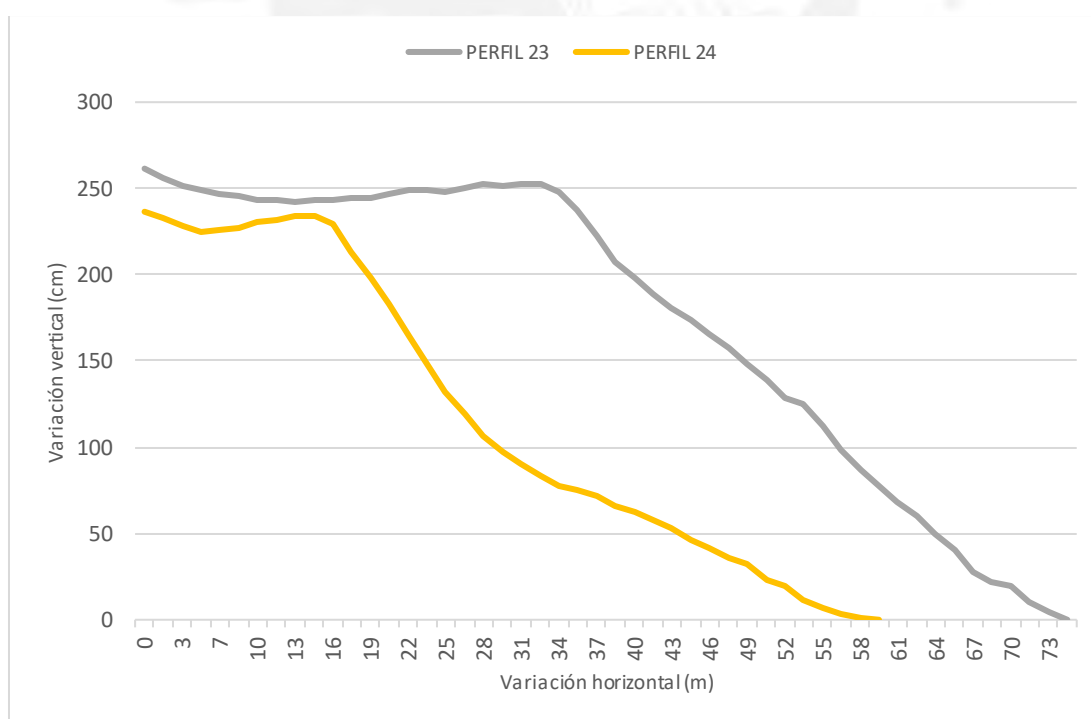


Figura 33. Perfiles de Cancas. Fuente: Fichas de perfiles de playa. Elaboración propia

Tabla 6. Valores de pendiente en la zona de estudio. *Fuente: Elaboración propia.*

SAE	Perfil	Nombre	Pendiente (°)	Promedio por playa (°)	Promedio por SAE (°)
1	1	Punta Veleros # 1	2.7	2.8	3.0
	2	Punta Veleros # 2	2.9		
	3	Los Órganos # 1	5.1	3.7	
	4	Los Órganos # 2	2.4		
	5	Vichayito # 1	2.6	2.6	
	6	Vichayito # 2	2.9		
	7	Vichayito # 3	2.2		
2	8	Pocitas #1	3.0	3.9	4.3
	9	Pocitas #2	5.9		
	10	Pocitas #3	2.8		
	11	Máncora # 1	4.5	4.7	
	12	Máncora # 2	5.8		
	13	Máncora # 3	2.0		
	14	Máncora # 4	7.2		
	15	Máncora # 5	4.3		
	16	Máncora # 6	4.2		
17	El Bravo	3.3	3.3		
3	18	Punta Sal # 1	4.0	3.0	2.8
	19	Punta Sal # 2	3.7		
	20	Punta Sal # 3	2.3		
	21	Punta Sal # 4	1.5		
	22	Punta Sal # 5	3.7		
	23	Cancas #1	2.0	2.2	
	24	Cancas #2	2.3		

A partir de la información de los perfiles de playa, se determinaron las pendientes de cada perfil, cuya información fue utilizada para el análisis del IVC. Los resultados de las pendientes por playa y cada zona (sub área de estudio) se presentan y detallan en la Tabla 6. Se utilizó el promedio de los perfiles para determinar la pendiente por playa y SAE, para generar una generalización por playa y SAE. De acuerdo con la Tabla 6, las playas con mayor pendiente son Máncora, Pocitas y Los Órganos, estas playas no cuentan con muchas características similares entre ellas, ya que tienen diferente variación horizontal, pero en su mayoría coinciden con un perfil erosivo.

Por otro lado, las playas Cancas, Vichayito y Punta Veleros son las playas con menor pendiente. De entre las tres sub área de estudio delimitadas (SAE's 1, 2 y 3), la zona con mayor pendiente es la SAE 2, siendo el perfil 14, en la playa de Máncora, el valor más alto con 7.2 grados y el perfil 21, en la playa de Punta Sal, el más bajo. Los valores por playa encontrados son variados, pero existen mayor cantidad de playas con pendientes en ± 3 grados de pendiente.

5.1.1.2 Sedimentos

En este punto se analizan los resultados del análisis granulométrico de las muestras de sedimento recopiladas en la zona de estudio, estas fueron procesadas en el laboratorio de química ambiental de la PUCP y analizadas con el programa GRADISTAT (Blott et al., 2000), con la finalidad de identificar y caracterizar los sedimentos de acuerdo a lo establecido por la bibliografía. En las Tablas 7 y 8 se presentan los parámetros estadísticos granulométricos de las muestras de sedimento recopiladas y su clasificación de acuerdo a Folk y Ward (1957).

De todas las muestras, la media se encuentra en un rango de 1.861ϕ - 2.471ϕ ($275.4 \mu\text{m}$ a $180.4 \mu\text{m}$) con un promedio de 2.129ϕ ($230.23 \mu\text{m}$), lo que coincide con la clase de arena fina. Respecto a la desviación estándar, esta representa el grado de selección de la muestra y es importante debido a que indica que tan similares son los tamaños de todas las partículas de la muestra, dan una deducción del transporte y la roca fuente. Los valores encontrados se encuentran dentro de un rango de 0.394ϕ - 0.699ϕ ($1.314 \mu\text{m}$ a $1.623 \mu\text{m}$) con un promedio de 0.510ϕ ($1.422 \mu\text{m}$), lo que corresponde a moderadamente bien seleccionada. Entre todas las muestras analizadas, el 79.2 % han sido categorizados como "Arena fina" y el restante 20.8 % es "Arena media", respecto a la selección de los sedimentos, el 50 % de las muestras se encuentran en la categoría de "Bien seleccionada" y el resto en "Moderadamente bien seleccionada".

Tabla 7. Resultado granulométrico de laboratorio. *Fuente: Muestras de sedimentos de playas.*

Elaboración propia

DESCRIPCIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE SEDIMENTOS						
SAE	Perfil	Media		Desviación estandar		% de HCL
		phi	µm	phi	µm	
1	1	2.258	209.1	0.520	1.434	3.46
	2	2.471	180.4	0.394	1.314	2.60
	3	2.405	188.8	0.420	1.338	2.98
	4	2.140	226.9	0.522	1.436	3.66
	5	2.248	210.5	0.416	1.334	2.45
	6	2.218	214.9	0.464	1.379	2.85
	7	2.296	203.6	0.421	1.339	2.31
2	8	2.021	246.4	0.467	1.383	3.17
	9	1.868	274.0	0.460	1.376	4.29
	10	2.079	236.6	0.474	1.389	4.19
	11	2.050	241.5	0.458	1.373	4.08
	12	1.963	256.5	0.598	1.513	6.09
	13	2.423	186.5	0.402	1.321	3.01
	14	2.150	225.3	0.561	1.376	3.54
	15	2.004	249.2	0.457	1.373	3.78
	16	2.396	190.0	0.399	1.318	2.81
	17	2.113	231.1	0.565	1.479	4.01
3	18	1.903	267.4	0.619	1.536	4.47
	19	1.931	262.2	0.618	1.535	4.00
	20	2.009	248.5	0.502	1.416	3.67
	21	2.083	236.0	0.699	1.623	4.13
	22	2.130	228.4	0.560	1.474	3.58
	23	2.081	236.3	0.563	1.478	3.59
	24	1.861	275.4	0.669	1.589	3.74

Tabla 8. Resumen de resultados granulométrico de laboratorio y pendiente. *Fuente: Muestras de sedimentos de playas. Elaboración propia.*

DESCRIPCION Y CATEGORIZACION DE SEDIMENTOS				
SAE	Muestra	Nombre	Clasificación Folk y Ward, Asimetría y Curtosis	Pendiente de perfil (°)
1	1	Punta Veleros # 1	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y mesocúrtica	2.66
	2	Punta Veleros # 2	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y platicúrtica	2.90
	3	Los Órganos # 1	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	5.13
	4	Los 'Organos # 2	Arena fina, moderadamente bien distribuida, simétrica y mesocúrtica	2.37
	5	Vichayito # 1	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y leptocúrtica	2.63
	6	Vichayito # 2	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	2.92
	7	Vichayito # 3	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	2.20
2	8	Pocitas # 1	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	3.01
	9	Pocitas # 2	Arena media, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	5.92
	10	Pocitas # 3	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	2.79
	11	Máncora # 1	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	4.47
	12	Máncora # 2	Arena media, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y leptocúrtica	5.81
	13	Máncora # 3	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	1.97
	14	Máncora # 4	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y leptocúrtica	7.21
	15	Máncora # 5	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	4.28
	16	Máncora # 6	Arena fina, bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	4.19
	17	El Bravo	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y leptocúrtica	3.26
3	18	Punta Sal # 1	Arena media, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y leptocúrtica	4.01
	19	Punta Sal # 2	Arena media, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y mesocúrtica	3.72
	20	Punta Sal # 3	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	2.26
	21	Punta Sal # 4	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y platicúrtica	1.50
	22	Punta Sal # 5	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y mesocúrtica	3.73
	23	Cancas # 1	Arena fina, moderadamente bien seleccionada, simétrica y mesocúrtica	2.03
	24	Cancas # 2	Arena media, moderadamente bien seleccionada, asimetría negativa y mesocúrtica	2.32

Por otro lado, la asimetría de las muestras indica el exceso, carencia o buena distribución de partículas de un determinado tamaño de sedimento, como exceso de granos finos o gruesos en la muestra (Arias et al., 2012), se encontraron dos tipos, siendo la más común la forma “Simétrica”, con un 66.6 %, seguido de “Asimetría negativa”, es decir con un poco de exceso de partículas gruesas. Con respecto a la curtosis, esta proporciona información sobre la concentración y distribución de los pesos alrededor de los valores de phi centrales, correspondientes a los tamaños medios de las partículas, es una comprobación de la estadística que ayuda a corroborar la asimetría y selección de la muestra (Arias et al., 2012). Se encontraron valores entre 0.867ϕ y 1.273ϕ , siendo el más común el valor 1.044ϕ , por ello las formas “Mesocúrtica”, “Platicúrtica” y “Leptocúrtica”, sin ninguno de sus casos extremos,. Finalmente, el porcentaje de carbonatos (CaCO_3) de las muestras tuvo un promedio de 3.60 %, teniendo un máximo de 6.09 % y un mínimo de 2.31 %. Finalmente, en la Tabla 10 se puede ver la relación entre la pendiente y el tipo de sedimento.

5.1.2 Geomorfología

En este subcapítulo se describe las principales características geomorfológicas de las diferentes SAE's que involucran esta investigación. En el área de estudio se encontraron las siguientes formaciones geomorfológicas principales, que caracterizan a las sub áreas de estudio como: las puntas rocosas, los acantilados vivos y muertos, playas de arena y cantos, llanuras aluviales, terrazas o tablazos marinos entre otros.

Los tablazos son depósitos marinos escalonados en forma de terrazas de materiales provenientes de las eras cuaternario y pleistoceno que indican las transgresiones de los mares a la costa, se caracterizan por sus formaciones horizontales extensas, de gran ancho pero poca altura, cubierto por sedimentos clásticos de antiguas plataformas continentales depositadas por corrientes marinas o fluviales, que luego emergieron por regresiones en costas emergentes. En esta investigación, se encontró el tablazo Máncora, que se extiende desde el sur de Los Órganos y Máncora, se encuentra representado en planicies altas, compuesto por conglomerados de cantos rodados de arenas finas o gruesas, bioclásticas con conchas (% de HCL) dentro de una matriz areniscosa y salina. El extremo sur e inicio de la zona de estudio, está compuesto por una gran punta rocosa pertenecientes al sector conocido como Punta Veleros. Este sector está compuesto por una serie de zonas de acantilado muerto y vivo, el primero se refiere a sectores de material sedimentario inconsolidado que ya no se encuentra en contacto con el mar, sino es una zona retirada a las faldas del acantilado mientras que el segundo se refiere a sectores con material sedimentario del acantilado donde sí existe contacto con el mar. Por otro lado, las puntas

rocosas son compuestas de material rocoso o consolidado en forma de promontorios de gran envergadura, compuesto de material aluvial o/y plutónico.

Gran parte de las playas Los Órganos y Máncora, se encuentra cubierta por sedimentos aluviales, provenientes de diferentes abanicos fluviales de los ríos existentes en esa área, como el río Máncora y río los Órganos. La llanura o depósito aluvial es conocida como la acumulación de material aluvial a lo largo de los valles y sus afluentes, se caracteriza por su forma de planicie, en la zona de estudio, esta se encuentra formada a partir de la deposición de material de tipo de cantos rodados, conglomerados de cuarcita, arenisca, rocas metamórficas, volcánicas e intrusivas, provenientes de ríos y quebradas.

En la zona de estudio los depósitos aluviales se clasifican en antiguas y recientes, las primeras forman terrazas y llanuras, conformados por arenas y arcillas pero con espesores que pueden sobrepasar los 10 metros, mientras que las más recientes constituyen el relleno por donde discurre las corrientes fluviales, de conglomerados y arenas que decrecen en tamaño desde la parte alta a la desembocadura, donde el material predominante es de arenas y limos. También se pueden encontrar varias quebradas que corren temporalmente permaneciendo varios años secas y cuando se activan devienen rápidamente con materiales de arcillas cascajosas indicando huaycos o crecidas rápidas.

Seguido a este, y concordante al SAE 2 se encuentra una zona de punta rocosas con planicies marinas junto con un acantilado muerto, que sigue aproximadamente 1.5 km de largo litoral, en donde se desarrolla la playa de Pocitas. Existe una transición entre acantilado muerto y las terrazas marinas. Las terrazas marinas en esta zona constituyen parte del tablazo Máncora, se caracterizan por estar compuestos por depósitos marinos y en el área de Pocitas se encuentran sumergidas, generando pequeñas pozas en la costa. La terraza marina más alta, donde se desarrolla la urbanización se denomina terraza marino-aluvial, por ser compuesta por material aluvial y marino.

Finalmente al inicio del SAE 3, se encuentra nuevamente una serie de puntas rocosas en conjunto con quebradas inactivas, que han generado una serie de playas de material aluvial y eólico. Se entiende a las playas como zonas de material no consolidado, que cubren una extensión desde el mar hacia tierra adentro, hasta donde hay un cambio fisiográfico. Las playas encontradas fueron de arena, pero en algunos casos, como Máncora o Pocitas, se encontraron una baja cantidad de cantos rodados debajo de una capa de arena fina.

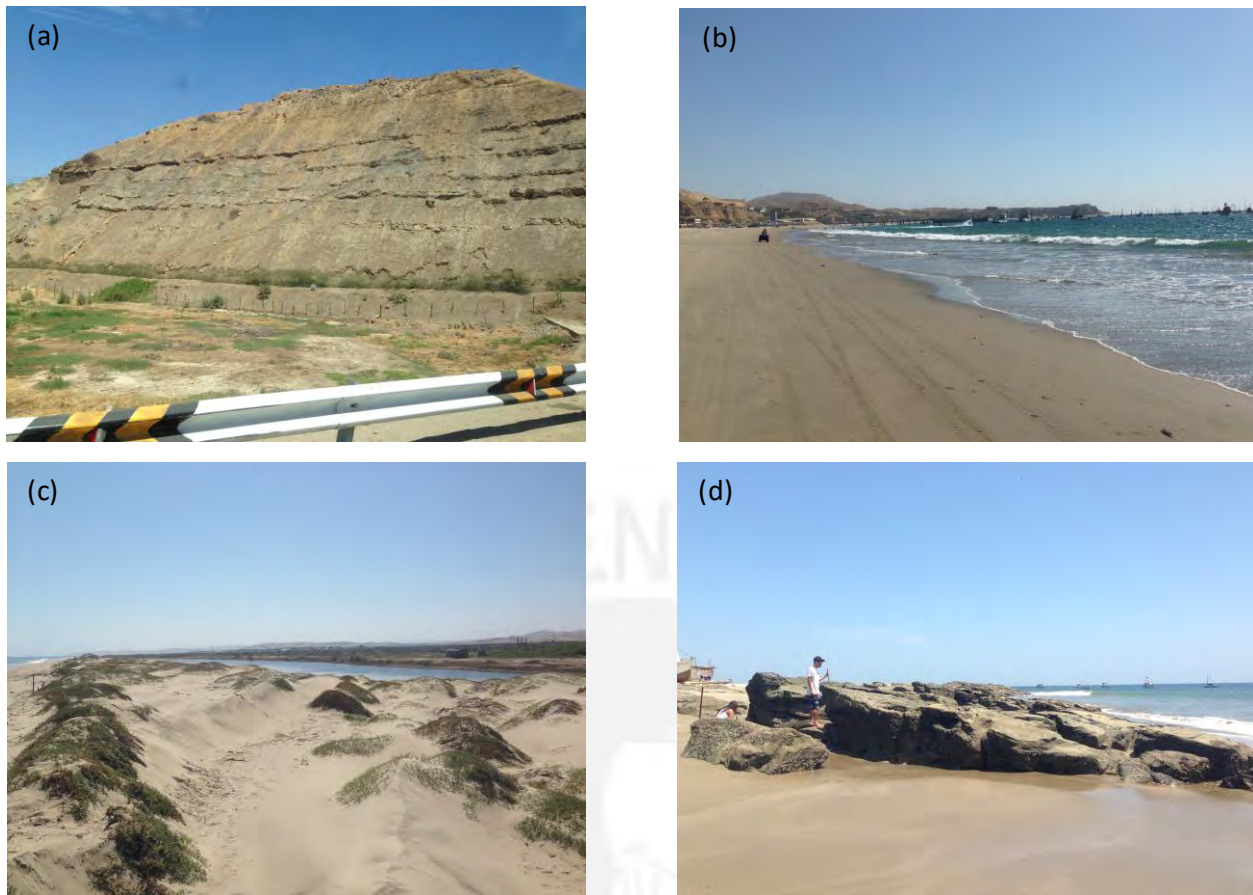


Figura 34. Formas geomorfológicas en la zona de estudio: a. Acantilado muerto b. Punta Rocosa c. Desembocadura de río Máncora d. Terraza marina. *Fuente: Salida de campo.*

En la zona de estudio, el viento juega un papel fundamental no sólo en el modelado de las diferentes geoformas, debido a la erosión del relieve, sino también genera zonas de depósitos de material eólico, compuesto por cuarzo en tamaño de arena. La dirección predominante es de Suroeste a Noreste. Se encontró este tipo de depósitos en las zonas de Vichayito, el norte de la playa Los Órganos y la zona de Punta Sal.

Una de las geoformas características presentes a lo largo de toda la zona de estudio son las quebradas. Esta se origina por la erosión del agua de lluvia y/o humedad mediante la escorrentía superficial, modelando el relieve como ríos estacionales, los cuales se activan según temporada, en este caso, los veranos de lluvias intensas y época de El Niño Oscilación Sur. Durante esta época, la mayoría de las quebradas se activan debido a los grandes volúmenes de agua, generando erosión del cauce y transporte y sedimentación hacia las costas, la formación del cordón litoral de Máncora fue también un resultado del ENSO, de acuerdo con Woodman y Mabres (1993).

En conclusión la mayor parte de la zona de estudio presenta terrazas o tablazos marinos y aluviales en capas alternas, seguido de acantilados muertos y playas de material fluvial y eólico junto con punta rocosas cubiertas de arena. En función a la vulnerabilidad, las puntas rocosas presentan una vulnerabilidad baja, seguido por los acantilados vivos y muertos, las formaciones con mayor vulnerabilidad son las desembocaduras de los ríos. Los detalles de la geomorfología predominante se encuentran en la Figura 35.



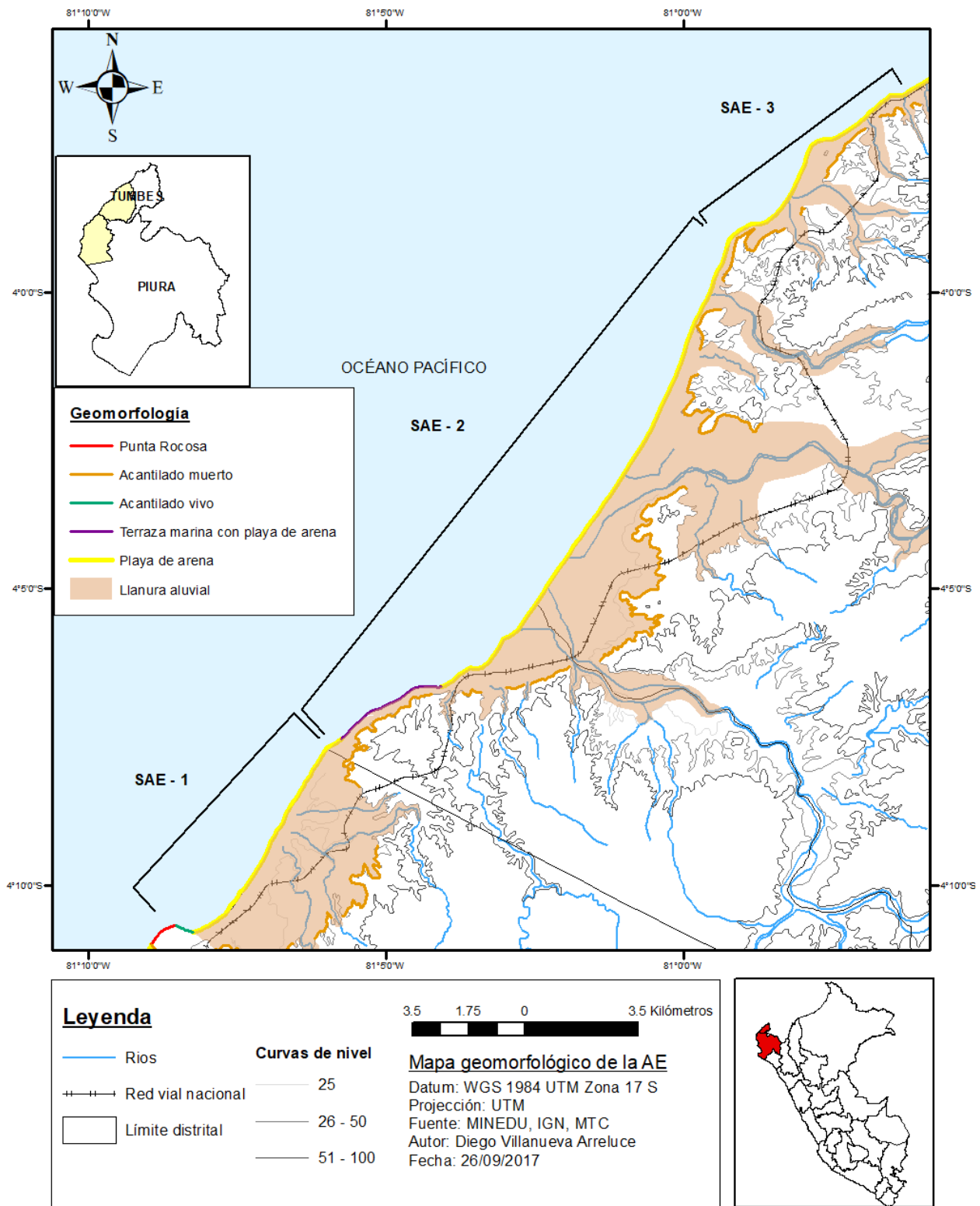


Figura 35. Mapa geomorfológico de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Uso del suelo en la primera fila

En este subcapítulo, se identifican y caracterizan los principales usos de suelo de la primera fila encontrados a lo largo de toda el área de estudio. Se utilizó la información recopilada en campo y registrada en la ficha litoral, los resultados se encuentran en la Tabla 9 y el detalle de estos se relata a continuación.

Se encontró un uso de suelo enfocado principalmente a dos rubros principales: comercial y residencial. De estos, el uso comercial fue el más encontrado, ya que la mayoría de las edificaciones han sido ambientadas para el uso de restaurantes, comercios, hoteles, hostales o comercios de recreación. Además, se encontraron usos como el productivo y finalmente se categorizaron otros usos, que incluyen áreas desiertas, desembocaduras de ríos, zonas con rocas o áreas con poca vegetación y playas no habitadas (Figura 36 y Tabla 9).

Debido a las características climáticas de la región, la zona de estudio goza de turismo todo el año y tiene una infraestructura para satisfacer esta demanda. Por ello, las playas principales, como Máncora, Los Órganos y Punta Sal, se encuentran dirigidas a este rubro. El uso de suelo de la primera fila de Máncora es principalmente y en mayor densidad restaurantes, hoteles, hostales y servicios acuáticos y pesqueros, la playa de Los órganos se caracteriza por sus restaurantes y hostales, pero con una menor densidad que Máncora. Finalmente en el caso de Punta Sal, el uso de suelo mayormente se encuentra dedicado a los hoteles privados de gran envergadura, como el Decameron y el hotel de Punta Sal, seguido por el uso de pesca.

Por otro lado, el uso residencial también está ampliamente encontrado, de sur a norte, la playa de punta veleros es netamente residencial privado y en proceso de urbanización, mientras que en las playas de Los Órganos y Máncora, la mayoría de las residencias se encuentran en las zonas externas de la playa, siendo reemplazada por restaurantes, hoteles u comercios. En cambio, la playa de Pocitas todavía muestra un predominio en el uso residencial, en donde la mayoría son residencias privadas de uso estacional, en algunos casos estas residencias se alquilan por fines de semana o temporadas enteras.

Existen otros usos de suelo de la primera fila de la zona de estudio, como el uso productivo, el cual considera los muelles de las bahías de Los Órganos y Máncora y las zonas “sin uso” los cuales incluyen las desembocaduras de ríos, playas sin infraestructura o en proceso de lotización.



Figura 36. Usos de suelo en la zona de estudio: a. Comercial b. Productivo y residencial c. Residencial d. Sin uso. *Fuente: Fotografía de salida de campo.*

Tabla 9. Uso de suelo en la zona de estudio. *Fuente: Datos recopilados de salida de campo. Elaboración propia.*

SAE	Playa	Uso de suelo primera fila
1	Punta Veleros	Residencial y otros usos
	Los Órganos	Comercial, residencial, productivo y otros usos
	Vichayito	Residencial, comercial y otros usos
2	Pocitas	Residencial y comercial
	Máncora	Comercial y productivo y otros usos
	El Bravo	Otros usos
3	Punta Sal	Residencial, comercial y otros usos
	Cancas	Residencial y productivo

5.1.4 Densidad poblacional

En este subcapítulo se detallan los resultados de la variable densidad poblacional de cada sector, mediante el cálculo de la densidad poblacional de cada distrito. Debido a que la mayoría de la población se encuentra en el ámbito urbano y no existen otras ciudades o pueblos principales en esos distritos, se optó por este medio.

Las sub áreas de estudio presentan una densidad poblacional variada, en contraste con los otros distritos encontrados en los departamentos aledaños. Debido a sus características turísticas, toda la zona de estudio concentra a la población de los diferentes distritos involucrados, además de los turistas. Esta densidad aumenta en la temporada de verano ya que incrementa el turismo local nacional especialmente proveniente del centro y sur del país.

La Tabla 10 muestra los resultados detallados de la densidad poblacional de cada SAE. Se presenta a la SAE de Máncora como el sector con mayor densidad poblacional, debido al acceso de las carreteras y la gran planicie aluvial en donde se desarrolla el pueblo de Máncora. Por otro lado, la SAE de Los Órganos cuenta con una densidad poblacional de 59.18 hab/km², este valor es menor debido a la presencia de los acantilados que dificultan la construcción y debido a la falta de accesos, aun así se pueden ver población asentada encima de los acantilados. Finalmente, la SAE de Punta Sal cuenta con la mayor área de todas las SAE's además de la

menor cantidad de habitantes, esto se apoya a lo joven del pueblo de Cancas y Canoas de Punta Sal y a la poca presencia de infraestructura residencial.

Tabla 10. Densidad poblacional en distritos aledaños a zona de estudio. *Fuente: Datos de INEI. Elaboración propia.*

Distrito	Area de distrito (km ²)	Número de personas (#)	Densidad poblacional (hab/km ²)
Pariñas	1130.687	88108	77.92
El alto	484.9046	7137	14.72
La brea	832.9782	12486	14.99
Lobitos	239.84	1506	6.28
SAE 1 – Los Organos	162.41	9612	59.18
SAE 2 - Mancora	100.19	10547	105.26
SAE 3 – Canoas de Punta Sal	623.34	4429	7.10
Zorritos	653.3233	10252	15.69
Vichayal	159.3154	5015	31.48
Colan	123.7377	12332	99.66
Paita	707.1145	72522	102.56
Vice	338.1751	12719	37.61
Sechura	5780.869	32965	5.70

5.1.5 Distancia de las estructuras de la primera fila a la costa

En este subcapítulo se presentan los resultados de la medición de la distancia de las estructuras de la primera fija de la zona de estudio a la franja litoral, debido a su importancia por ser la primera fija de defensa a la erosión, el incremento del nivel del mar y por ende su importancia en la vulnerabilidad.

En esta investigación se realizaron 21 mediciones de las distancias de la infraestructura a la línea litoral en diferentes puntos de las SAE's que luego fueron promediadas para tener un valor representativo. Se encontraron puntos en donde no hubo infraestructuras, por lo que no se tomaron en cuenta, tampoco se consideró infraestructura encima de los acantilados, por encontrarse a una diferente altura del mar.

En la Tabla 11 se detallan los resultados por punto, se puede ver que los puntos con menor distancia se encuentran en las playas de Máncora y Pocitas, en donde estas se encuentran a menos de 20 metros del mar. Por otro lado, las playas de Punta Veleros, Vichayito, Punta Sal y Cancas se encuentran dentro de los primeros 50 metros de la franja litoral y sólo la playa de Los Órganos, se encuentra a más de 50 metros de distancia de la costa.

En conclusión, la distancia de la infraestructura encontrada en toda la zona de estudio se caracteriza por estar asentada cerca de la franja litoral. En el caso de la SAE de Máncora, la construcción de algunas estructuras se encuentran demasiado cerca al mar (Figura 37), el malecón se encuentra en contacto con el mar en momentos de marea alta o pleamar y residencias y restaurantes también se encuentran afectadas por el mar los cuales, en algunos casos, obstruyen el paso de los bañistas. En la SAE de Los Órganos las edificaciones se encuentran un poco más alejadas en relación a las demás sub áreas de estudio, por otro lado la SAE de Punta Sal fue la más dinámica, teniendo edificaciones retiradas, como el hotel Decameron y otras muy cercanas, como residencias de pescadores en Cancas.



Figura 37. Contacto de mar con malecón de Máncora, a) Marea baja y b) Marea alta. *Fuente: Fotografía de salida de campo.*

Tabla 11. Distancia de las estructuras a la costa en la zona de estudio. *Fuente: Datos recopilados de la salida de campo. Elaboración propia.*

SAE	Perfil	Playa	Distancia (m)	Promedio por playa (m)	Promedio por SAE IVC
1	1	Punta Veleros # 1	33.00	35.25	43.25
	2	Punta Veleros # 2	37.50		
	3	Los Organos # 1	21.00	55.50	
	4	Los Organos # 2	90.00		
	5	Vichayito # 1	No tiene	39.00	
	6	Vichayito # 2	40.50		
	7	Vichayito # 3	37.50		
2	8	Pocitas # 1	15.00	18.00	15.31
	9	Pocitas # 2	10.50		
	10	Pocitas # 3	28.50		
	11	Máncora # 1	12.00	13.70	
	12	Máncora # 2	15.00		
	13	Máncora # 3	No tiene		
	14	Máncora # 4	10.50		
	15	Máncora # 5	22.00		
	16	Máncora # 6	9.00		
	17	El Bravo	No tiene	No tiene	
3	18	Punta Sal # 1	16.50	40.20	37.50
	19	Punta Sal # 2	21.00		
	20	Punta Sal # 3	84.00		
	21	Punta Sal # 4	54.00		
	22	Punta Sal # 5	25.50		
	23	Cancas # 1	39.00	30.75	
	24	Cancas # 2	22.50		

5.1.6 Cambio de línea de costa

En este subcapítulo se muestran en primer lugar los resultados de la variabilidad de la costa para toda el área de estudio, en donde se puede observar variaciones en la línea litoral, procesos de erosión y acreción, entre los años 1961 – 2017. Luego la zona de estudio ha sido dividida en las diferentes SAE's, según lo establecido en esta investigación, en donde se detallan los parámetros de la Tasa de cambio final o EPR (End Point Rate) y el Movimiento Neto de la Línea de Costa o NSM (Net Shoreline Movement), indicando la tasa de variación de las líneas de cada transecto, ajustado al margen de error establecido por los perfiles de playa.

Los resultados generales que se presentan en la Figura 39 demuestran un avance en las playas de Los Órganos, Máncora y Cancas y zonas de retroceso en Punta Veleros, Pocitas, Punta Sal, entre otros. Por otro lado, el análisis espacio temporal no muestra influencia antrópica, pero sí de posible influencia a eventos naturales propios de la zona. Finalmente, se presenta la Figura 38, se pueden ver como el mar se encuentra avanzando hacia el lado sur del pueblo de Máncora y Pocitas afectando estructuras.

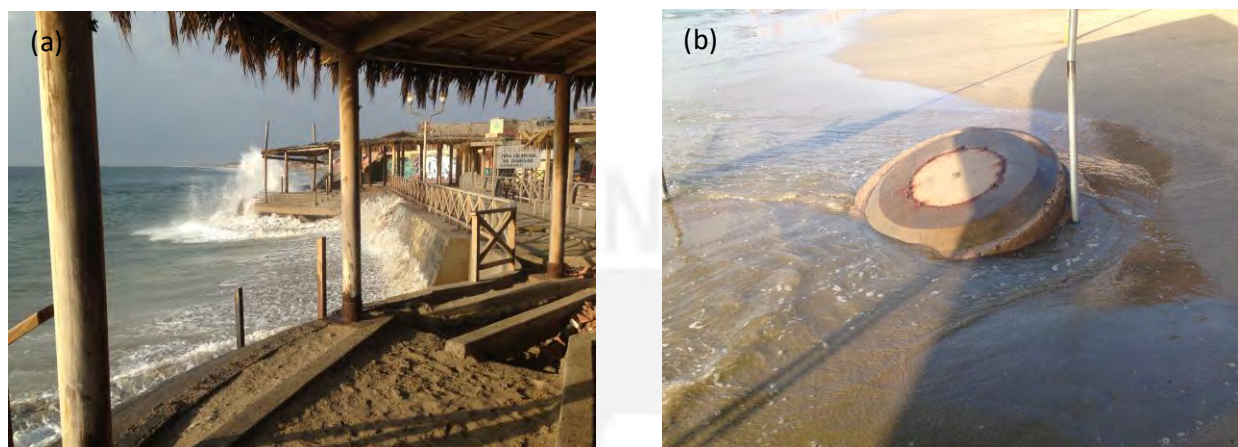


Figura 38. Variabilidad costera en la zona de estudio, a) Malecón de Máncora y b) Tubería en límite de Máncora y Pocitas. *Fuente: Fotografía de salida de campo.*

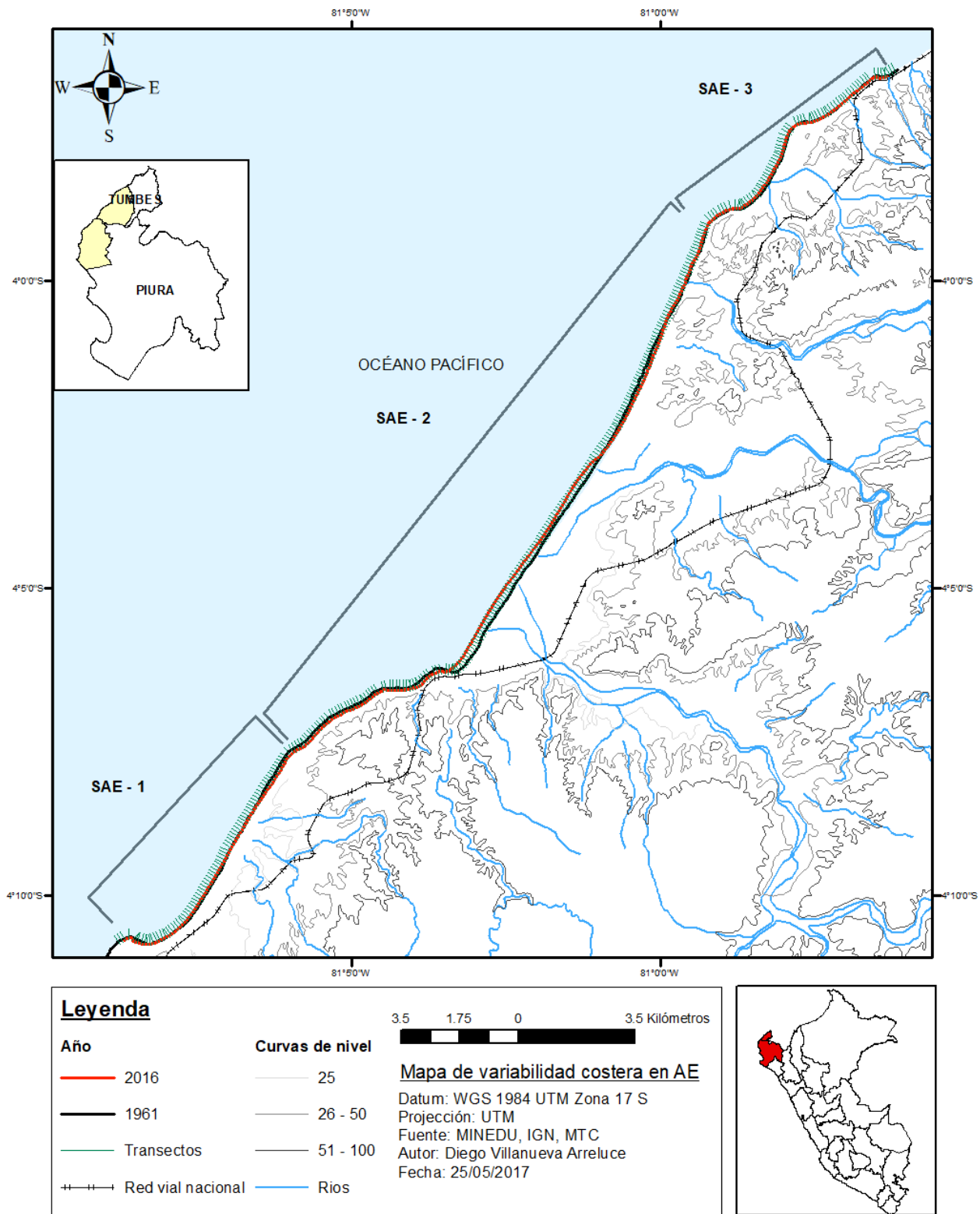


Figura 39. Cambio de línea de costa en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta el movimiento neto de la línea de costa (o NSM por sus siglas en inglés) por sub-área de estudio, este dato reporta la distancia en metros entre las líneas de costa más antigua y más reciente. Por otro lado, se presenta también la tasa de cambio final de la línea de costa (o EPR por sus siglas en inglés), por SAE, cuyo resultado ayuda a identificar zonas de erosión y sedimentación, estos dos tipos de análisis son adecuados por la cantidad de datos disponibles. En este análisis se utilizaron 368 transectos digitalizados de sur a norte, con una separación de 100 metros.

En primer lugar, el NSM demuestra que entre 1961 y el 2017 ha habido un movimiento positivo en la SAE 1. Para el análisis se utilizó de base el 67.07 % de los transectos encontrados en este sector, los cuales se encuentran fuera del margen de error, y se determinó una sedimentación promedio en esta zona de 12.147 metros. Aun así, se puede observar un fuerte retroceso de la línea de costa en 2200 metros del área central, con un pico mínimo de - 48.52 metros y otros dos puntos individuales de erosión pertenecientes a la zona de la playa Los Órganos. Por otro lado, la Figura 40, muestra la tasa anual de variación de la línea de costa, en donde existe una tendencia a una disposición sedimentaria en la SAE 1 de Los Órganos, pero con la existencia de zonas con fuerte erosión, la cual no sobrepasa el metro por año. En promedio, esta zona presenta una tendencia al equilibrio con 0.223 metros al año.

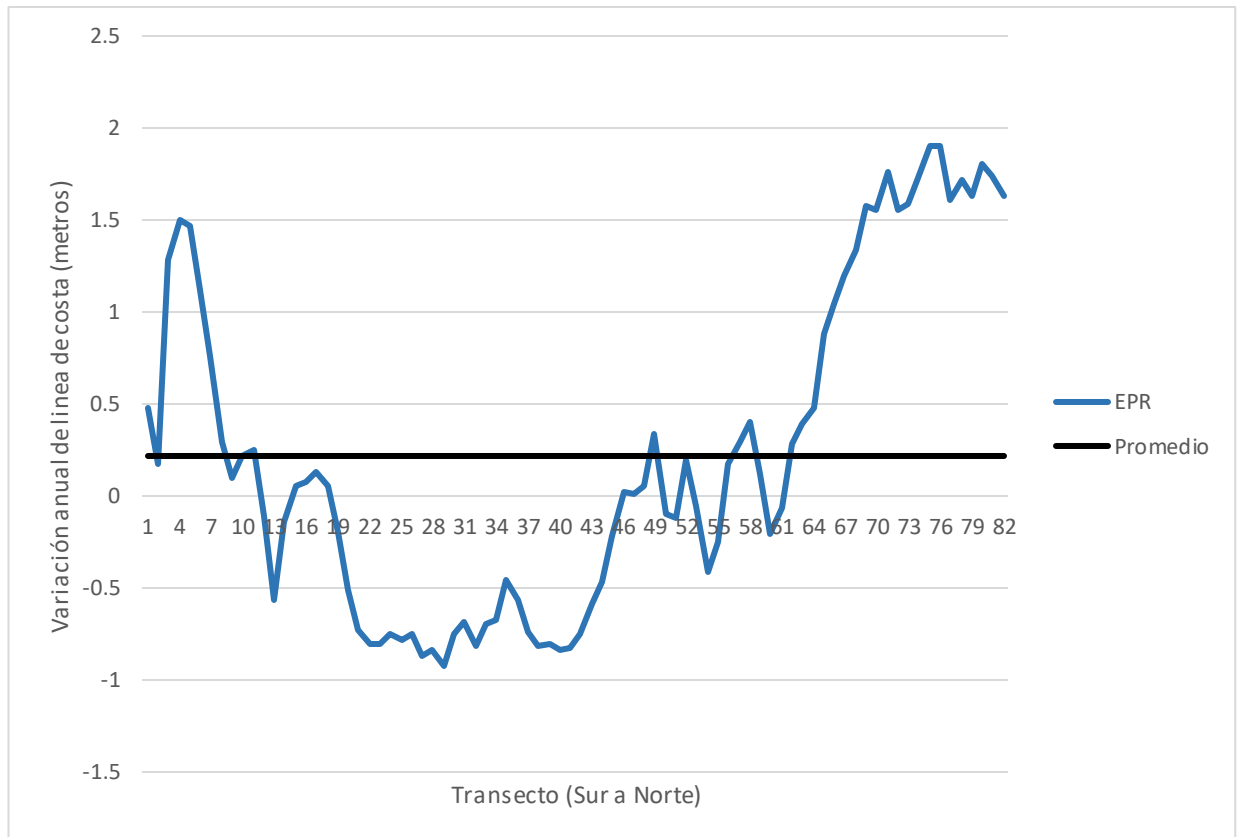


Figura 40. Tasa anual de variación en SAE 1 (1961 – 2017). Fuente: DSAS. Elaboración propia.

En segundo lugar, de acuerdo con el NSM entre 1961 y el 2017, la SAE 2 ha tenido en promedio un proceso de erosión en toda la zona de estudio. Para el análisis se usó de base el 94.33 % de los transectos de la SAE 2 Máncora, los cuales se encontraron fuera del margen de error, y se determinó un proceso de erosión en esta zona, con un promedio de - 36.95 metros. Aun así, se pueden observar dos grandes zonas de sedimentación, en la zona sur y norte de la SAE 2.

Por otro lado, la Figura 41, muestra que a un nivel anual, la SAE 2 se encuentra una disposición erosiva, con una zona principal de fuerte erosión, que sobrepasa el metro y medio por año, con puntos individuales que sobrepasan los tres y cuatro metros de erosión en la franja litoral. En promedio, esta zona presenta un retroceso u erosión de - 0.663 metros al año.

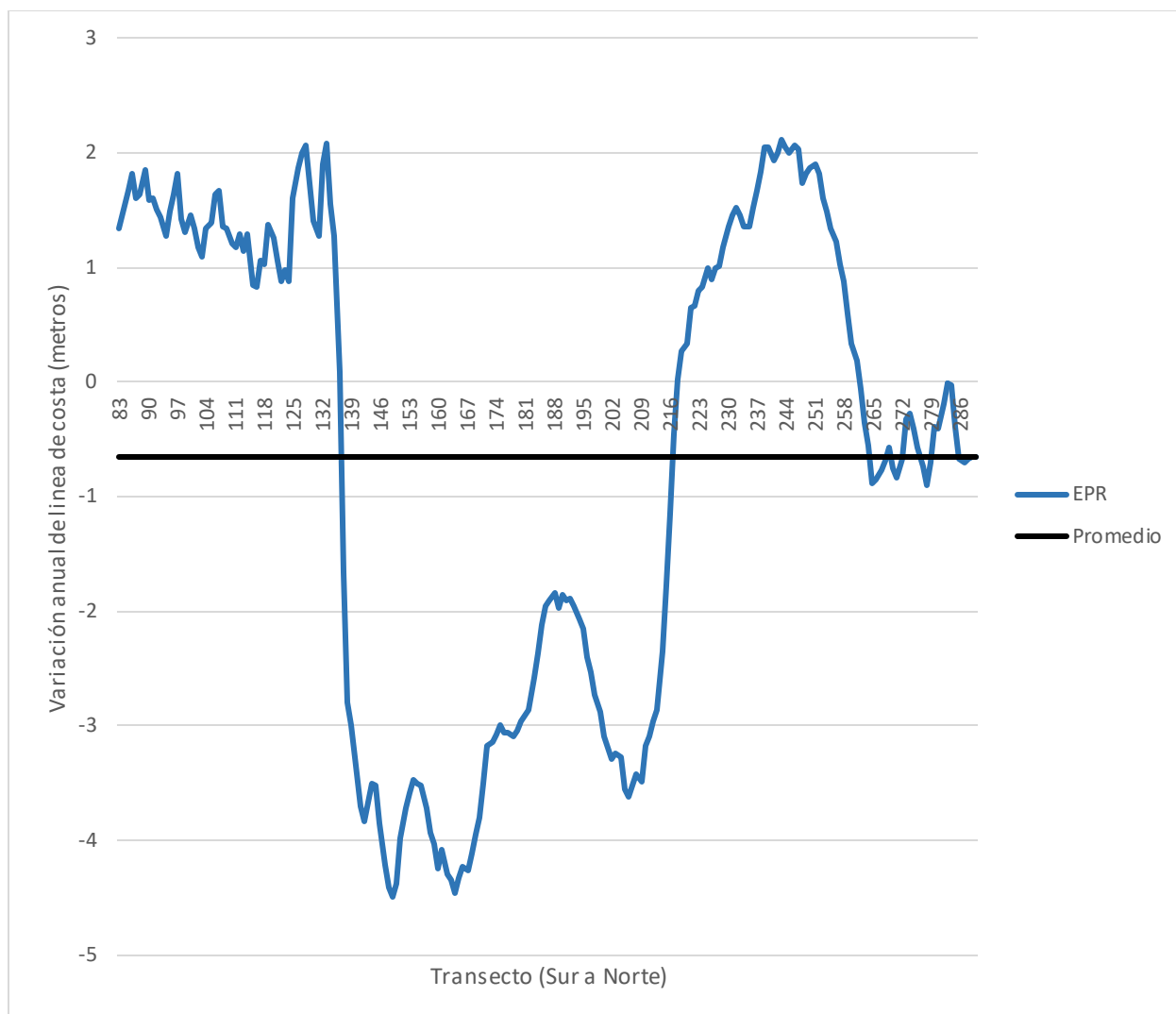


Figura 41. Tasa anual de variación en SAE 2 (1961-2017). Fuente: DSAS. Elaboración propia.

Finalmente, el NSM demuestra que en la SAE 3 Punta Sal ha habido en promedio un proceso de erosión en toda la zona de estudio. Se utilizó de base el 39.74 % de los transectos de la SAE 3, los cuales se encontraron fuera del margen de error, y se determinó la presencia de un proceso de erosión en esta zona, con un promedio de -20.043 metros. Aun así, se pueden observar dos puntos de zonas de sedimentación, en la zona central y norte de la SAE 3 Los Órganos.

Por otro lado, la Figura 42, muestra una disposición erosiva en la SAE 3, con una zona de fuerte erosión, que sobrepasa el metro y medio por año, con puntos individuales que sobrepasan los tres y cuatro metros de erosión en la línea litoral. En promedio, esta zona presenta un retroceso de -0.663 metros al año.

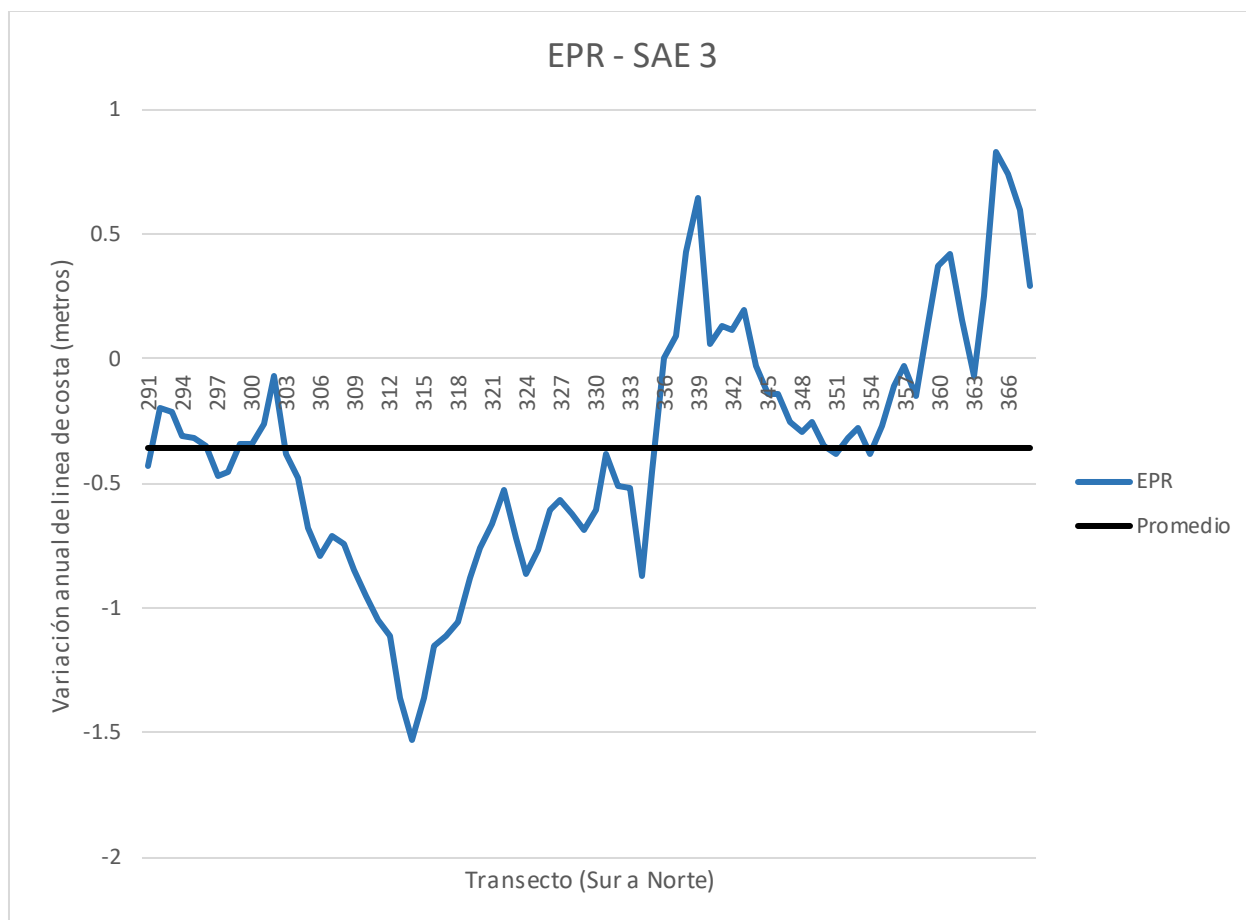


Figura 42. Tasa de cambio en la SAE 3. Fuente: DSAS. Elaboración propia

Finalmente, se presenta a continuación la Tabla 12, donde se detallan los promedios de la Tasa de cambio final o EPR (End Point Rate) y el Movimiento neto de la línea de costa o NSM (Net Shoreline Movement) para cada sub área de estudio.

	EPR	NSM
SAE 1	0.223	12.417
SAE 2	-0.663	-36.953
SAE 3	-0.359	-20.043
Promedio	-0.401	-22.368

Tabla 12. Resultados y promedios de análisis del cambio de línea de costa, según DSAS.

Fuente: DSAS. Elaboración propia.

5.2. Aplicación del Índice de vulnerabilidad costera

A partir de la caracterización de las tres sub áreas de estudio y los resultados preliminares para cada una de las seis variables involucradas en esta investigación, se realizó la clasificación y valorización de las variables, la cual puede verse en la Tabla 13. A partir estos valores se aplicó la Ecuación 9, para determinar los valores máximos y mínimos posibles. Los resultados se encuentran entre 0.041 y 51.031, indiferente del rango de valores posibles por el resultado de la aplicación del IVC a los datos de esta investigación. Este rango fue dividido en quintiles, con la finalidad de posicionar los resultados totales en su categoría respectiva, la Tabla 14 detalla esta división. Luego, se aplicó la Ecuación 9 a los resultados parciales (Tabla 15) obteniendo los resultados del IVC final por SAE (Tabla 16).

Los resultados del IVC muestran que la playa con la menor vulnerabilidad es El Bravo, debido a una clasificación de vulnerabilidad “Muy baja”. Las playas Punta Veleros, Punta Sal y Cancas, tienen una clasificación de vulnerabilidad “Baja”. Por otro lado, las playas de Los Órganos, Vichayito, Pocitas y Máncora, presentan una clasificación de vulnerabilidad “Media”. Respecto a las sub áreas de estudio establecidas en esta investigación, se indicó a las SAE 1 y 2 como las más vulnerables, con una clasificación de vulnerabilidad “Moderada”, mientras que la SAE 3 fue clasificada con una vulnerabilidad “Baja”.

La vulnerabilidad relativa por variable puede verse en la Tabla 15. Con respecto a las variables físicas, los resultados de clasificación por playa indican en general una vulnerabilidad “Moderada” y “Alta”, mientras que las variables socioeconómicas una clasificación general entre “Moderada” y “Muy alta”. A pesar de ello, existen particularidades en ciertas playas con ciertas variables, como el caso de la playa El Bravo.

La variable pendiente de las playas presentó un rango de vulnerabilidad “Moderada” a “Muy alta”. Las playas Punta Veleros, Vichayito y Cancas presentaron una vulnerabilidad “Muy alta” con pendientes muy suaves con valores entre 2.8° y 2.2° . Además, las playas de Los Órganos, Pocitas, El Bravo y Punta Sal, indicaron una vulnerabilidad “Alta” por la presencia de pendientes suaves, con valores entre 3.2° y 4.0° y finalmente la playa de Máncora presentó una vulnerabilidad “Moderada”, con una pendiente moderada promedio de 4.7° . A nivel de sub áreas de estudio, la SAE 3 presentó la mayor vulnerabilidad, con una clasificación “Muy alta”, con un valor de 2.8° , luego se indica a la SAE 1, con una clasificación “Alta” debido a una pendiente de 3.0° y finalmente la SAE 2 presentó una pendiente de 4.3° , lo que lo se clasificó como una vulnerabilidad “Moderada”.

La vulnerabilidad por la geomorfología encontrada en la zona de estudio data entre los rangos “Muy baja” a “Muy alta”. El valor de vulnerabilidad más bajo corresponde a la punta rocosa de la playa Punta Veleros, la playa de Pocitas se indica como la única con vulnerabilidad “Moderada” por la presencia de terrazas o tablazos marinos sedimentarios. Las playas de Los Órganos, Vichayito, Máncora, Punta Sal y Cancas, presentan una clasificación de vulnerabilidad “Alta” debido a ser zonas de playas de arena, formado encima de llanuras aluviales o planicies sedimentarios poco elevadas, de sedimentos poco consolidados. La playa El Bravo, cuenta con una vulnerabilidad “Muy alta” debido a encontrarse en una llanura aluvial y cercana a la desembocadura del río Máncora. Por otro lado, la variabilidad de la línea de costa en todas las playas y sub áreas de estudio se encuentran dentro de la clasificación “Moderada”, debido a que los valores encontrados, entre -0.663 y 0.223 m/año, se clasifican dentro del rango de estabilidad de playas (-1.0 - + 1.0 m/año).

Con respecto a las variables socioeconómicas, la variable de densidad poblacional indicó una vulnerabilidad “Muy baja”, “Moderada” y “Muy alta”. Las playas de Punta Sal y Cancas, que conforman la SAE 3, presentaron la menor vulnerabilidad debido a la poca cantidad de personas en el área del distrito que las conforma, con 7.10 hab/km². Las playas de Punta Veleros y Los Órganos, parte de la SAE 1, presentaron una clasificación de vulnerabilidad “Moderada” por contar con 59.18 hab/km² y finalmente las playas de Pocitas, Máncora y El Bravo, de la SAE 2, se les indicó una vulnerabilidad “Muy alta” debido a la presencia de 105.26 hab/km². En el caso de la variable de uso del suelo encontrado en la zona de estudio, la mayoría de la infraestructura de la primera fila corresponde al uso residencial, comercial o productivo, en las formas de restaurantes, hoteles, hostales, casas de alquiler, entre otros, los cuales tienen amplia importancia económica. Es por ello que la mayoría de las zonas han sido clasificadas con una vulnerabilidad “Muy alta” y sólo en el caso de El Bravo, se indicó una vulnerabilidad “Muy baja”, por un uso de suelo correspondiente a los cuerpos de agua y áreas sin estructura, con poca vegetación.

De la misma manera, las estructuras encontradas a lo largo de la zona de estudio se encuentran muy cerca de la línea litoral. Es por ello que la gran mayoría de las playas indican una vulnerabilidad “Muy alta” y “Alta”, con la excepción de la playa El Bravo, el cual no cuenta con edificaciones. Por otro lado, las playas de Punta Veleros, Vichayito, Pocitas, Máncora, Punta Sal y Cancas, se encuentran dentro de los primeros 50 metros de playa, en un rango entre 13.70 y 40.20 metros de distancia, por lo que se indicó una clasificación de vulnerabilidad “Muy alta”, mientras que sólo la playa de Los Órganos, tuvo una distancia de 55.50 metros, aunque sigue

teniendo clasificación de vulnerabilidad “Alta”. A nivel de sub-área de estudio, todas presentaron una vulnerabilidad “Muy alta”, aunque, la SAE 2 presentó la menor distancia, con un promedio de 15.31 metros de distancia de los edificios a la costa, la SAE 3, presentó un promedio de 37.50 metros y la SAE 1 una distancia de 43.25 metros.



Variables	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta
	1	2	3	4	5
Variables físicas					
Pendiente de la playa (°) ¹	> 6.0	6.0 – 5.0	4.9 – 4.0	3.9 – 3.0	< 3.0
Geomorfología ²	Acantilados altos o medios sobre rocas consolidadas y resistentes	Acantilados medio/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erosión	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales elevadas y con sedimentos tipo grava o roca	Playas extensas adosadas a planicies o llanuras sedimentarias litorales poco elevadas y con sedimentos tipo arena	Playas adosadas a humedales tómbolos, deltas, etc. y sectores que protegen formaciones estuarinas o fluvio-mareales
Variabilidad de la línea de costa (m/año) ³	≥ 2.1	1.0 - 2.0	-1.0 – +1.0	- 1.1 - -2.0	≤ - 2.0
Variables socioeconómicas					
Densidad poblacional (hab/km ²) ⁴	≤ 25	25 – 50	50 – 75	75 – 100	> 100
Uso del suelo ⁵	Rocas, áreas sin infraestructura, áreas con poca vegetación, pantanos, páramos y cuerpos de agua	Áreas costeras y pastos naturales	Bosques	Uso agrícola-	Uso residencial, comercial, industrial o productivo
Distancia de las estructuras con nivel medio de marea (m) ⁶	≥ 230	230 – 171	170 – 11	110 – 51	≤ 50

Tabla 13. Variables y rangos en el Índice de Vulnerabilidad Costera. Fuente: Elaboración propia.

¹ Basada en IVC de la USGS, adaptado a características de la zona de estudio.

² Basada en adaptación propuesta por Ojeda (2009).

³ Basado en IVC de Gornitz (1991), adaptado a características de la zona de estudio.

⁴ Basado en IVC de Lynch (2009), adaptado a características de la zona de estudio.

⁵ Basado en McLaughlin et al., (2002).

⁶ Basado en la Ley de Playas (N. 26856)

Vulnerabilidad	IVC
Muy baja	0.041 – 10.239
Baja	10.239 – 20.437
Moderada	20.437 – 30.635
Alta	30.635 – 40.833
Muy alta	40.833 – 51.031

Tabla 14. Rango de clasificación de IVC. *Fuente: Datos recopilados de salida de campo y bibliografía. Elaboración propia.*

Nombre de Playa	Pendiente	Geomorfología	Variabilidad costera	Densidad poblacional	Uso de suelo	Distancia de estructuras	IVC	Clasificación
Punta Veleros	5	1	3	3	5	5	13.693	Baja
Los Órganos	4	4	3	3	5	4	21.909	Media
Vichayito	5	4	3	3	5	5	27.386	Media
Pocitas	4	3	3	5	5	5	27.386	Media
Máncora	3	4	3	5	5	5	27.386	Media
El Bravo	4	5	3	5	1	1	7.071	Muy baja
Punta Sal	4	4	3	1	5	5	14.142	Baja
Cancas	5	4	3	1	5	5	14.790	Baja

Tabla 15. Puntaje parcial según el IVC por playa. *Fuente: Datos de salida de campo y bibliografía. Elaboración propia.*

SAE	Playa	IVC SAE	CLASIFICACION TOTAL
1	Punta Veleros	22.136	Moderada
	Los Órganos		
	Vichayito		
2	Pocitas	22.203	Moderada
	Máncora		
	El Bravo		
3	Punta Sal	14.524	Baja
	Cancas		

Tabla 16. Resultados y calificación del IVC total. *Fuente: Datos de salida de campo y bibliografía. Elaboración propia.*

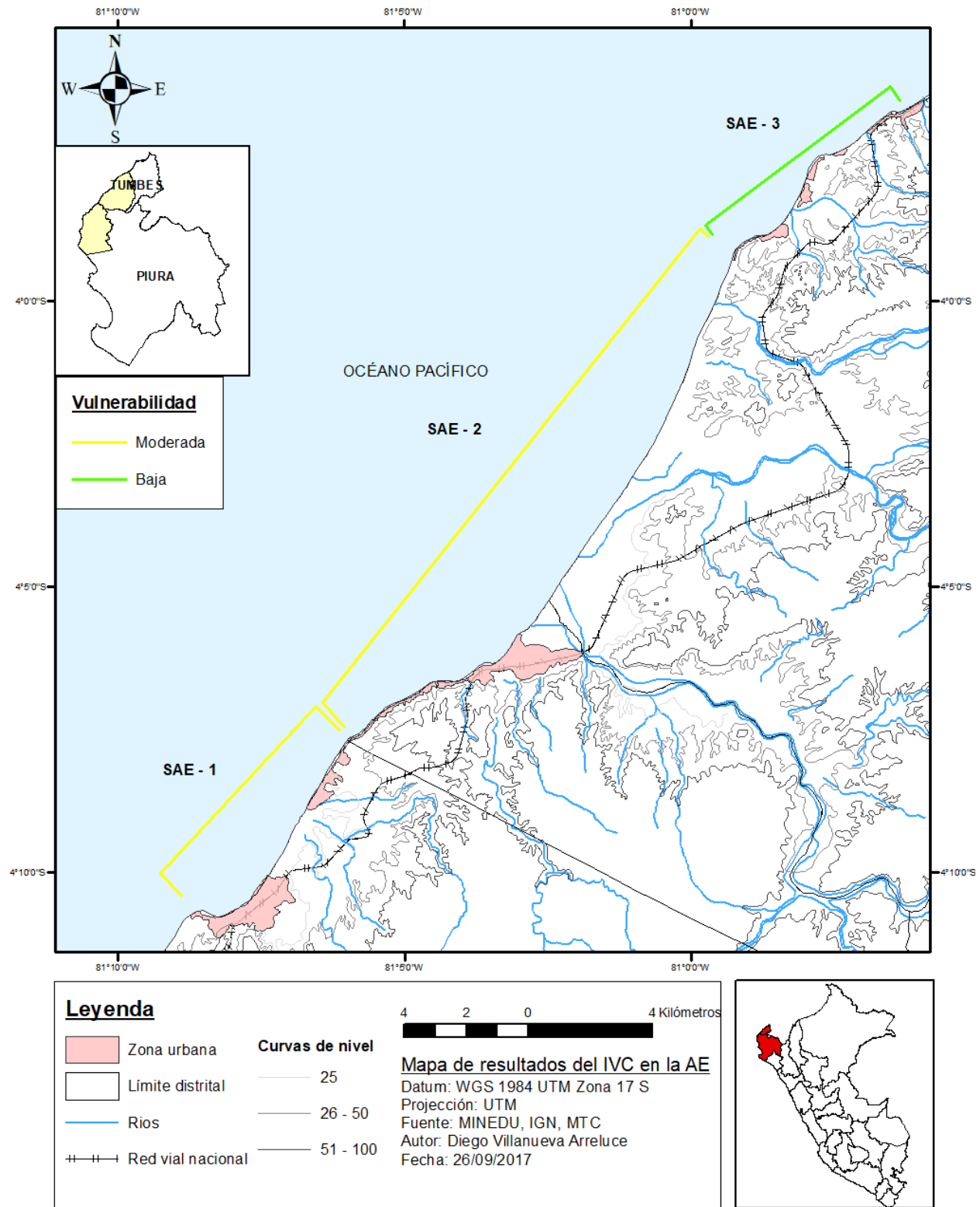


Figura 43. Vulnerabilidad de las áreas de estudio para el IVC. Fuente: Elaboración propia.

6. DISCUSIÓN

El objetivo de esta investigación ha sido identificar los sectores más vulnerables a la erosión costera de Los Órganos, Máncora y Punta Sal mediante la aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) con la finalidad de reducir la vulnerabilidad, proteger la infraestructura existente, las inversiones y las vidas humanas. La aplicación y estudio de este índice, mediante el uso de variables físicas y socioeconómicas, se constituye en un procedimiento sistematizado de evaluación de la vulnerabilidad total, de una zona ocupada por seres humanos y en donde se realizan actividades humanas. Además, la introducción de las variables socioeconómicas permitieron identificar con más precisión la vulnerabilidad del sector analizado, en vez de la aplicación y análisis clásico del IVC donde únicamente se ejecuta mediante la utilización de variables físicas, el procedimiento más común (Gornitz, 1991, 1994 y 1997, Thieler & Hammer Klose, 1999 y 2000, Doukakis, 2005, Appeaning, 2013 entre otros). Este tipo de proceso ya ha sido realizado en investigaciones previas como Aguilar (2015), Ramirez-Gastón (2017) y Tejada (2017), con el uso de variables únicas y la ecuación adecuada a sus respectivas áreas de estudio. En primer lugar se discutirán las variables utilizadas en el IVC, sus resultados, abarcamiento y otros enfoques, después se discutirán las herramientas y procesos involucrados en el IVC.

Los resultados del IVC del área de estudio catalogaron a las tres diferentes SAE's según su nivel de vulnerabilidad, obteniendo resultados entre una vulnerabilidad "Baja" y "Moderada". Las sub áreas de estudio de Máncora y Los Órganos resultaron las más vulnerables, principalmente debido a su densidad poblacional, uso de suelo y la cercanía de sus edificios a la línea de litoral. Por otro lado, la SAE de Punta Sal ha sido calificada con una vulnerabilidad "Baja", debido a su baja densidad poblacional. A un nivel más detallado, de las ocho playas que conforman la zona de estudio, la vulnerabilidad se encuentra en un rango de vulnerabilidad "Media" en las playas Los Órganos, Vichayito, Pocitas y Máncora (50 % de las playas); en el caso de Punta Veleros, Punta Sal y Cancas, se encontró una vulnerabilidad "Baja", mientras que en la playa El Bravo, se indicó la vulnerabilidad más baja posible.

A nivel general el IVC demuestra una metodología adecuada para el análisis de la vulnerabilidad costera debido a la erosión en la zona norte del país. El índice, compuesto de seis variables físicas y socioeconómicas con el mismo peso (pendiente de playa, geomorfología, variabilidad de la línea de costa, densidad poblacional, uso de suelo y distancia de las estructuras a la costa) fue aplicado a la franja litoral del área de estudio. Se utilizó el criterio de cédula litoral para la delimitación de las tres sub áreas de estudio. Estas variables fueron elegidas en base a la

caracterización de la zona de estudio y dieron una buena aproximación a la vulnerabilidad por playa y SAE, pero mediante la ejecución del paso previo se pudo hacer análisis por variable para poder determinar su aporte y utilidad al índice.

En primer lugar, con respecto a las variables físicas, la variable “Pendiente de playa” fue integrada al índice debido a su importancia en otros estudios de vulnerabilidad costera, debido a estar considerada como una de las primeras defensas al aumento del nivel del mar (Gornitz, 1991, 1994 y 1999, Pendleton, 2009, Thieler & Hammerklose, 1999 y 2000, Diez et al., 2007, entre otros). Esta variable cuantitativa se encuentra estrechamente ligada a la vulnerabilidad, donde las playas de menor pendiente tienden a ser más propensas a procesos de inundación y erosión. Los valores de la variable “Pendiente” permitieron identificar y calcular el margen de error para las tendencias de variación de línea costera debido al ciclo de las mareas. Además, los resultados de la clasificación de los perfiles resultaron en valores distintos, de una vulnerabilidad “Muy baja” a “Media” (entre 2.2 ° y 4.7°), lo que permitió hacer comparaciones entre las SAE´s. Respecto a la recolección de los perfiles de playa, se realizó un promedio de 2 mediciones por unidad geomorfológica, aunque sería ideal el realizar levantamientos de perfiles de playa cada cierta distancia determinada. Por otro lado, se calculó el promedio de pendiente por playa y SAE, este procedimiento fue necesario para generalizar esta variable de acuerdo a la delimitación de las SAE. Esta ponderación, naturalmente genera que se pierda detalle, así sea a nivel de playa o SAE, pero genera una aproximación general sobre las pendientes dentro de la delimitación del área de estudio.

En el caso de la “Geomorfología”, esta es considerada, junto con la pendiente, como una de las variables principales, debido a ser el resultado de la dinámica litoral y es el principal afectado por la dinámica erosiva del mar y viento. El problema con esta variable cualitativa recae en las diferentes unidades que se pueden encontrar en el mundo. En esta investigación se optó por la clasificación y adaptación de Ojeda (2009), en donde las costas con acantilados altos, de material consolidado y resistente, ofrecen una mayor resistencia y por ende menos vulnerabilidad a la zona. Las zonas de playas adosadas a humedales, desembocaduras de ríos, formaciones estuarianas o llanuras aluviales, son más vulnerables por su suave pendiente y material no consolidado. La presencia de terrazas o planicies en la zona de mediana o baja altura diferencian los rangos de vulnerabilidad. Se utilizó esta clasificación debido a que se ajustó más a la zona de estudio, otras investigaciones utilizan unidades costeras diferentes propias a sus áreas de estudio, como es el caso de Gornitz (1991), quien utilizó una clasificación que considera los acantilados rocosos con una vulnerabilidad “Muy baja” y las playas de arena, deltas, entre otros,

una vulnerabilidad “Muy alta”, o Pendleton, (2009) el cual consideró a las llanuras aluviales con una vulnerabilidad “Moderada”. Por ello, recae en el investigador generar su propia clasificación para su área de estudio, pero es necesario generar una clasificación de acuerdo con las características de grandes unidades regionales. Las unidades geomorfológicas de esta zona son variadas, como las playas de arena, acantilados muertos y vivos, terrazas marinas, entre otros, pero se encuentran dentro de una unidad mayor: el tablazo Máncora. La clasificación propuesta fue considerada adecuada para la zona norte del Perú, excepto en la zona del norte de Tumbes, en donde la clasificación debería incorporar los manglares de baja pendiente. Para tener una uniformidad de las mediciones, la observación de la geomorfología y su registro en la ficha litoral fue un método adecuado, junto con el registro fotográfico.

La “Variabilidad de la línea costera” es otra variable cuantitativa de mucha importancia en los estudios de investigación de vulnerabilidad costera. Se encuentra presente en la mayoría de las investigaciones, desde la propuesta inicial de la fórmula del IVC, como el caso de Gornitz (1991, 1994 y 1999), Thieler y Hammerklose (1999, 2000), Ojeda (2009), entre otros. Esta clasificación considera a la sedimentación a los valores de variación de costa ≥ 1.0 m/año, la estabilidad de playas a los valores de variación dentro de -1.0 a 1.0 m/año y erosión de playas a valores de variación ≤ -1.0 . Existe un consenso en la importancia de esta variable, debido a la información recopilada de fotos aéreas y satelitales como la tasa de erosión y sedimentación que se calcula a partir del desplazamiento de la línea de costa en un espacio temporal. La mayoría de las investigaciones (Gornitz 1991, 1994 y 1999, Diez et al. 2007, Appeaning, 2013, entre otros) utilizan la clasificación clásica presentada por Gornitz (1991). Esta clasificación fue usada en esta investigación, pero la división de los rangos puede variar, como lo demuestran otras investigaciones que utilizan una clasificación diferente, como Pendleton (2004), Nageswara et al. (2008) y Aguilar (2015). No se utilizó este método debido a la poca cantidad de investigaciones que lo han aplicado en lo que respecta a esta investigación. Es posible realizar un análisis más detallado de la variabilidad costera, en especial debido a la influencia de factores naturales como ENSO, el reciente niño costero y la influencia de la corriente de Humboldt. Para ello se necesitaría una mayor variedad de imágenes satelitales y aéreas de años diferentes, actuales y pasados, esto permitiría ver de manera más detallada los procesos de erosión, estabilidad y sedimentación y la influencia antrópica de los muelles de Máncora y Los Órganos, pero se encuentra fuera de los objetivos de esta investigación.

En segundo lugar, las variables socio-económicas. La “Densidad poblacional”, se escogió debido a la importancia de la cantidad de personas y su presión en un territorio costero determinado.

Además de su reciente inclusión en investigaciones del IVC como McLaughlin et al. (2002) y reconocimiento de su importancia como variable cuantitativa por otros autores, como Gornitz et al. (1994). En esta investigación se utilizó una clasificación de vulnerabilidad para la densidad poblacional ajustada. Los resultados mostraron valores que se adecuan a las diferencias de concentración poblacional encontradas no sólo dentro de la zona de estudio, sino a lo largo de los distritos de la costa norte del país. Se considera a la clasificación y valoración de la vulnerabilidad de esta variable como la más sensible al cambio, debido a que no se puede establecer un rango para todo el país o el mundo. Esto ocurre debido a las diferentes concentraciones de población que se pueden encontrar a lo largo de la costa, como es el caso del contraste entre principales ciudades costeras de nuestro país y otros distritos costeros. A pesar de ello, establecer un rango de vulnerabilidad con los distritos costeros aledaños del departamento y departamentos involucrados, permitió hacer una aproximación real a por lo menos un nivel departamental. Por otro lado, el agregar todos los distritos costeros del Perú podría generar algo más adecuado, ya que son los afectados.

Respecto a los “Usos del suelo”, esta variable cualitativa se utilizó debido a la importancia económica de las estructuras encontradas en la zona de estudio. En esta investigación se utilizaron los criterios establecido por McLaughlin (2002), en donde la importancia y vulnerabilidad de un área recae en el valor económico de las estructuras, siendo las estructuras de mayor vulnerabilidad aquellas de uso comercial, residencial o productivo, la clasificación más baja se refiere a zonas baldías, bosques y desembocaduras de ríos. La clasificación de esta variable depende de la visión del investigador y las características económicas y sociales de la zona de estudio. En esta investigación, la mayoría de los usos de suelo encontrados fueron de uso residencial y comercial, y por ende de mayor vulnerabilidad.

La “Distancia de las estructuras a la costa” es una variable cuantitativa que se utilizó debido a la importancia de tener una distancia prudencial a la línea de costa. En la zona de estudio se utilizó la Ley de playas (N. 26856) para su clasificación debido a que se trata de una normativa nacional. Respecto a la toma de mediciones de esta variable, el procedimiento de levantamiento de datos en el mismo lugar que los perfiles de playa no ha sido el más adecuado. Esto ocurre debido a que las infraestructuras no necesariamente se encuentran a la misma altura uno de otro, por lo que se necesitan más datos (como mediciones individuales de cada infraestructura, cada cierta distancia determinada) para poder tener una aproximación real. Esta podría ser determinada a través del uso de imágenes satelitales, en donde se realicen mediciones cada cierta distancia determinada.

El uso de estas variables dio un buen resultado en la aplicación del IVC, pero las variables utilizadas no son las únicas posibles, estudios como Gornitz (1991, 1994 y 1999), Pendleton (2004), McLaughlin (2002), entre otros, utilizan otras variables, tanto físicas como socioeconómicas, como altura de las olas, nivel de mareas, aumento relativo del nivel del mar, vías de acceso, etc. Por ello, se pueden analizar una gran variedad de variables en la misma zona de estudio, pero esta depende de la capacidad de recolección de información por parte del investigador.

Por otro lado, se analizaron separada e individualmente el aporte de las tres variables físicas y tres variables socioeconómicas al IVC, con la finalidad de evaluar su importancia y aporte como grupo al análisis de la vulnerabilidad por sectores. Este procedimiento ya ha sido realizado en investigaciones previas como Aguilar (2015) y Ramírez Gastón (2017). En el caso de Aguilar (2015) este análisis se realizó como parte de los resultados de la investigación, mientras que Ramírez Gastón realiza el análisis en su discusión. En esta investigación, se consideró pertinente el análisis y discusión de este tema en el presente capítulo, debido a ser un análisis derivado de los resultados.

En primer lugar se realizó una división por grupo de tres variables (físicas y socioeconómicas) y un ajuste en el rango de vulnerabilidad de acuerdo al número de variables, tres en cada caso. Se aplicó la ecuación presentada por Gornitz (1991). La clasificación (Tabla 17) y resultados (Tabla 18) se presentan a continuación.

Tabla 17. Rangos de clasificación de IVC físico y socio-económico. *Fuente: Datos recopilados de salida de campo y variables antes mencionadas. Elaboración propia.*

Vulnerabilidad	IVC físico	IVC socioeconómico
Muy baja	0.577 – 1.753	0.577 – 1.753
Baja	1.753 – 2.929	1.753 – 2.929
Moderada	2.929 – 4.105	2.929 – 4.105
Alta	4.105 – 5.281	4.105 – 5.281
Muy alta	5.281 – 6.455	5.281 – 6.455

Tabla 18. Resultados de clasificación de IVC físico y socio-económico. *Fuente: Datos recopilados de salida de campo y variables antes mencionadas. Elaboración propia.*

Variable	Puntaje	Vulnerabilidad física	Puntaje	Vulnerabilidad socio-económica	IVC Total	Vulnerabilidad
SAE 1. Los Órganos	3.742	Moderada	4.830	Alta	22.136	Moderada
SAE 2. Máncora	3.830	Moderada	4.734	Alta	22.203	Moderada
SAE 3. Punta Sal	4.108	Alta	2.887	Baja	14.524	Baja

Respecto a las variables físicas, los resultados muestran que la vulnerabilidad física es “Moderada” y “Alta” en la zona de estudio. En relación a los resultados del IVC total, en la SAE 1 y 2 estos son semejantes, mientras que en el sub área de estudio de Punta Sal, la vulnerabilidad es “Baja”. Variables como la “Pendiente de playa” y “Geomorfología” tuvieron valores que permitieron hacer una diferenciación y por ende una comparación entre áreas. Los resultados de las variables socioeconómicas indican que la vulnerabilidad en toda la zona de estudio se encuentra en una clasificación “Alta” y “Baja”. Las sub áreas de estudio Los Órganos y de Máncora indican una vulnerabilidad “Alta”, mientras que la SAE 3 Punta Sal, una clasificación “Baja”. En relación al IVC total, los resultados del SAE 3 son semejantes, mientras que los resultados de la vulnerabilidad de la SAE 1 y 2 son un grado menor (“Moderada”). Variables como la “Densidad poblacional” han logrado hacer una diferenciación que refleja la realidad de los sectores, por lo que sus valores han sido variados. Por otro lado, la variable de “Uso de suelo” no mostró gran diferencia en resultados debido a que todos han sido catalogados con una vulnerabilidad “Muy alta”, debido a que todos han sido catalogados con el mismo nivel, el IVC total se ve influenciado de la misma manera. Por consiguiente, el uso de tres variables físicas y tres variables socioeconómicas del mismo peso en el IVC ha permitido tener un mejor acercamiento a la vulnerabilidad total del área de estudio. Su relación como dos grandes factores de pesos iguales que generan la vulnerabilidad se puede ver en el balance de los resultados del IVC total, como por ejemplo en la SAE 3, donde a pesar de tener una “Alta” vulnerabilidad física, la “Baja” vulnerabilidad socioeconómica resulta en una vulnerabilidad total “Baja”.

En contraste con Aguilar (2015), Tejada (2017) y Ramirez Gastón (2017), los resultados de este análisis se diferencian por varios motivos como: la selección de variables utilizadas, la ecuación del IVC aplicada y la caracterización y delimitación del área de estudio. La diferencia recae en

ser una primera aproximación a la vulnerabilidad costera del área de estudio, mediante la aplicación del IVC, con las características únicas de la zona incluyendo la misma cantidad de variables físicas y socioeconómicas. A pesar de estas diferencias, se puede aplicar una comparación entre todas las áreas si se uniformizan las variables y se aplica un IVC general, dependiendo de los datos de cada área de estudio que se derivan de la caracterización de estos.

Finalmente, los resultados obtenidos sirven para preguntarnos sobre las limitaciones encontradas en el IVC. En primer lugar, el incremento o decrecimiento de información por variable influencia directamente al resultado de la vulnerabilidad, tanto física, socioeconómica como total. Esto afecta especialmente a las variables cuantitativas, como es el caso de las variables “Pendiente de playa” y “Distancia de las estructuras a la costa”, ya que pocas mediciones no son representativas mientras que muchas pueden traer problemas en la generalización. El problema de la generalización ocurre cuando se reduce, en este caso, de 24 mediciones de la variable “Pendiente” a tres grandes valores representativos por SAE y lo mismo sucede con la variable “Distancia de las estructuras a la costa”. El objetivo de la generalización es poder tener un valor representativo de toda el sub área, el cual ha sido definido por la delimitación de cada SAE, por lo que es necesario hacer el promedio de datos. Por ello, para tener en cuenta este factor, se detallaron los resultados parciales (Tabla 15). Por otro lado, el momento de la toma de mediciones puede traer variaciones a los resultados, dependiendo de que variables se utilicen, como es el caso de variables como “Amplitud de la Marea”, “Altura de las olas”, las cuales no han sido utilizadas en esta investigación, por ello la selección de las variables es de suma importancia.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El cambio climático genera impactos como el cambio en la frecuencia y magnitud de eventos extremos, el aumento del nivel del mar y el consiguiente aumento en la erosión costera, debido a la expansión térmica y el derretimiento de glaciares. Esta investigación tuvo como objetivo general identificar los sectores más vulnerables a la erosión costera de Los Órganos, Máncora y Punta Sal, aplicando un Índice de Vulnerabilidad Costera. Se escogió esta zona debido a la disponibilidad de datos, importancia socio-económica para el país como balnearios turísticos y la falta de investigaciones de este tipo. Para su estudio, esta fue dividida mediante el criterio de cedula litoral en tres sub áreas de estudio y se aplicó el IVC de manera independiente.

Los resultados finales obtenidos mediante la aplicación del IVC demuestran que Los Órganos (SAE 1) y Máncora (SAE 2) son los más vulnerables, seguidos por Punta Sal (SAE 3). Estos resultados se derivan principalmente de una alta vulnerabilidad de sus variables socio-económicas, en donde la densidad poblacional, la cercanía de las estructuras a la costa y el uso de suelo, principalmente residencial y comercial, juegan un papel fundamental en la vulnerabilidad total hacia la erosión costera. En detalle, en la SAE 1 Los Órganos, las variables con mayor aporte a la vulnerabilidad son la pendiente, el uso de suelo y la distancia de las estructuras. La clasificación de la SAE 2 Máncora se debe a su alta densidad poblacional general, geomorfología y uso de suelo, compuesto en general de residencias, comercios y actividades productivas como la pesca. En relación a la SAE 3, su baja vulnerabilidad total se debe a su muy baja densidad poblacional, en contraste a que esta zona indica un uso de suelo comercial y residencial, cercano a la línea de costa y con la presencia de hoteles de gran envergadura.

La aplicación del IVC ha demostrado que este método y herramientas afines son útiles y pertinentes para identificar y analizar la vulnerabilidad en la zona litoral, permitiendo generar una comparación y clasificación entre una serie de áreas establecidas según variables físicas y socio-económicas. Mediante la caracterización geomorfológica y socioeconómica se pudo identificar las principales variables responsables a la contribución de la vulnerabilidad física o socioeconómica del área en cuestión, necesarias para la construcción del IVC. Por otro lado, el índice permitió identificar las variables físicas y socioeconómicas que aumentan la vulnerabilidad en la zona de estudio. Entre las variables utilizadas en el IVC en esta investigación, aquellas que más contribuyeron a la vulnerabilidad fueron la pendiente, uso de suelo y distancia de las estructuras a la costa. Aquellas que tuvieron una menor contribución fueron la variación de la línea de costa y la densidad poblacional. Respecto a su valor para el IVC, el aporte como variable

y la clasificación del rango de vulnerabilidad son factores que deben verse tanto individualmente como correlacionadas. Los resultados de las variables fueron clasificados según su aporte a la vulnerabilidad, en un rango entre “Muy baja” y “Muy alta”. La división de la zona de estudio por cedula litoral se basó en generar unidades de análisis físicamente relacionadas, incluyendo la presencia de límites antropogénicos.

La aplicación del Índice de Vulnerabilidad costera, utilizando Sistemas de Información Geográfica permitió probar la metodología, la capacidad de análisis y limitaciones de esta herramienta para la identificación de zonas prioritarias por su vulnerabilidad costera. La importancia de esta investigación radica en la caracterización del área de estudio, la identificación de variables únicas utilizadas en el IVC, el análisis correlacionado de variables físicas y socioeconómicas del mismo peso y la separación y determinación de las unidades de análisis. Con estos resultados y análisis, se contribuye brindando información importante para realizar reducir la vulnerabilidad, proteger la infraestructura existente, las inversiones futuras y las vidas humanas.

A raíz del análisis de los resultados obtenidos, se recomienda a los tomadores de decisiones establecer un inventario nacional sobre la situación de la vulnerabilidad costera, teniendo en cuenta variables físicas y socioeconómicas, con la finalidad de establecer estrategias nacionales, regionales y locales. Dentro de estas estrategias, se recomienda retirar poco a poco a la población en situación muy cercana a la franja litoral, especialmente aquella con gran densidad poblacional en áreas con una alta vulnerabilidad física. No se recomienda la construcción de murallas o malecones en zonas de erosión para impedir el avance del mar. Para las inversiones en el futuro, como el desarrollo de la urbanización, se recomienda no asentarse cerca de zonas con tendencias erosivas, desembocaduras de ríos o zonas con baja pendiente y de material no consolidado.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias D., Lopez O., Jimenez J., (2012). Analisis de sedimentos utilizando un enfoque de programación estructurada. Medellin: Universidad nacional de Colombia.
- Appeaning, A., (2013). Assessing coastal vulnerability index to climate change: the case of Accra – Ghana. *Journal of Coastal Research*. N. 65, pp. 1892 – 1897.
- Alesheikh, A., Ghorbanali, A., Nouri, N., (2007). Coastline change detection using remote sensing. *International Journal of Environmental Science & Technology*. N. 4, pp. 61 - 66.
- Boateng, Isaac, (2012). An application of GIS and coastal geomorphology for large scale assessment of coastal erosion and management: a case study of Ghana. *Journal of Coastal Conservation*. N.7, pp 383 - 397.
- Boggs, Sam, (2009). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Segunda Edición. Inglaterra: Cambridge.
- Boruff, B. Emrich, C. y Cutter, S., (2005). Erosion hazard vulnerability and US Coastal Countries” *Journal of Coastal Research*. N. 215, pp. 935-942.
- Bird, E. C. F., (1985). *Coastline Changes*. Nueva York: Wiley & Sons.
- Blott, S. J. y Pye, K., (2000). *A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer*. Inglaterra: Universidad de Londres.
- Carter, R.W.G., (1988). *Coastal environments an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Nueva York: Academic Press.
- Clark, J., (1977). *Coastal Ecosystem Management*. Nueva York: Wiley.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA, (1997). *Ley de Playas N° 26856*.
- Davidson-Arnott R. (2010). *An introduction to coastal processes and geomorphology*. Inglaterra: Universidad de Cambridge.
- Dávila, J., (1995). *Diccionario Geológico*. Lima.
- Diez, P. Perillo, G y Piccolo C., (2007). Vulnerability of sea-level rise on the coast of Buenos Aires province. *Florida: Journal of Coastal Research*. N. 23, pp. 119-126.
- Dean R., Walton, J., Rosati, J y Absalonsen, L., (2013). *Beach Erosion: Causes and Stabilization. Coastal Hazards, Capítulo 13*. Florida: Springer Science+Business Media.
- Doukakis E., (2005). Coastal vulnerability and risk parameters. *European water publications*. N. 11/12, pp. 3-7.

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

Folk, R.L. and Ward, W.C., (1957). Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, No. 27, pg. 3-26.

GEF, ONUDI, IMARPE, IFOP, (2002). Manejo integrado del gran ecosistema marino de la corriente de Humbolt. Informe de Avance, Proyecto GEF, Modulo I. Humbolt Current Large Marine Ecosystem Project.

Gornitz, V., (1991). Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Paleoecology (Global and Planetary Section)* N. 89, pp 379-398.

Gornitz, V. Daniels, R. White, T. y Birdwell K., (1994). The development of a coastal risk assessment database: Vulnerability to sea-level rise in the U.S. southeast" *Journal of Coastal Research*. Special Issue No.12, p.327-338.

Gornitz, V. Beaty, T. y Daniels, R., (1997). A coastal hazard data base for the U.S. West Coast. Oak Ridge National Laboratory

Gutiérrez, M., (2001). Geomorfología litoral. Barcelona: Editorial Omega.

Grández, M., (2010). Estudio de vulnerabilidad de la 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.

Hinkel, J. Nichols, R. Tol, R. Wang, Z. Hamilton, J. Boot, G. Vafeidis, A. Mcfadden, L. Ganopolski, A y Kelin, R., (2013). A global analysis of erosion of sandy beaches and sea-level rise: and application of DIVA. *Global and Planetary Change*, N. 111, pg. 150-158.

IMARPE, (2010). Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú. Instituto Nacional de la Producción. Lima: Ministerio de Producción.

INGEMMET, (1999). Geología de los cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada Seca, Zorritos, Tumbes y Zarumilla. Boletín N° 56. Servidor virtual del Ingemmet.

INGEMMET, (1999). Mapa geológico de la carta náutica 111, Punta Capones a Punta Sal. Dirección de geología regional.

INGEMMET, (2009). Mapa geológico de la carta náutica 112, Punta Sal a Pariñas. Dirección de geología regional.

INEI, (1993). IX Censos nacionales: IX de Población y IV de Vivienda. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

INEI, (2007). Censos nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda” Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

In Ho, K & Jung Lyul L., (2011). Beach Monitoring and Beach Management of Gangwon coast. Italia: Journal of Coastal Research. Special Issue No. 61.

Jiménez, J. Valdemoro, F. Sole, F. Mendoza, E. García, V. Bosom, E. y Sanchez-Arcilla, A., (2009). Evaluación de la vulnerabilidad costera a diferentes procesos: una aproximación multiescalar. Barcelona: U.P. Catalunya.

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” Lima: Tesis de Licenciatura, PUCP.

Aguilar, M. (2015). Propuesta de Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Region Lima” Lima: Tesis de Licenciatura, PUCP.

McLaughlin, S. McKenna, J. Cooper, J., (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability índices: constrains and opportunities. Journal of coastal research. N. 36, pp. 487-497.

Nageswara, K. Subraelu, P. Venkateswara T. Hema, B. Ratheesh, R. Bhattacharya, S. Rajawat, A., (2008). Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast. India through remote sensing and GIS. Journal of Coastal Conservation. N. 12, pp. 195 – 207.

Novoa, Z., (2007). Geografía de las zonas Marino-Costeras: El Litoral Pacífico Peruano”. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.

Ojeda, J. Álvares, J. Cajaraville, D. y Fraile, P., (2009). El uso de las tecnologías de información geográfica para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa de Andaluz - España. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, Geofocus, N. 9, pp. 83 – 100.

Palmer, B. Van der, E. Mackay, F. Mather, A. Smith, A. Bundy, S. Thackeray, Z. Leuci, R. Parak, O., (2011). Preliminary coastal vulnerability assessment for KwaZulu-Natal, South Africa. Journal of coastal research. N. 64, pp.1390 – 1395.

Patch, K. y Griggs, G., (2007). Development of Sand Budgets for California's Major Littoral Cells. Eureks, Santa Cruz, Southern Monterrey Bay, Santa Barbara, Santa Monica (including Zuma), San Pedro, Laguna, Oceanside, Mission Bay and Silver Stand Littoral Cells”. California: Institute of Marine Science, University of California.

Pendleton, E. Thieler, E. Williams, J., (2004). Coastal Vulnerability assessment of Cape Hettaras National Seashore (CAHA) to sea level rise. Virginia: USGS Open File Report 2004-1064.

Pinet, Paul, (2006). Invitation to Oceanography. Cuarta Edición. Londres: John and Bartlett Publishers.

Ramirez Gastón, J., (2017). Análisis de la vulnerabilidad costera del valle de cañete, lima, Perú". Lima: Tesis de licenciatura PUCP.

Rondón, Gustavo, (2011). Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007. Lima: Tesis de licenciatura PUCP.

Ros, Daniel, (2014). Zonificación de la costa Noroccidental del Mediterráneo para la evaluación de los riesgos asociados al cambio climático. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

SENAHMI, (S.F.). Guía climática turística (Primera edición). Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú.

Strahler. Arthur, (1999). Geografía Física. Barcelona, España.

Suarez de Vivero, J., (2005). Delimitación y Definición del Espacio Litoral. Sevilla: Departamento de Geografía Humana. Universidad de Sevilla.

Surf-forecast, (2017). Máncora surf and wind distribution by month. Sitio web: <http://es.surfForecast.com/breaks/Máncora/reliability/>

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

Tejada, X., (2017). Análisis de la vulnerabilidad costera frente a un posible aumento del nivel del mar: Sector costero Lurín, Pucusana (Provincia de Lima). Lima: Tesis de licenciatura PUCP.

Thieler, E., Himmelstoss, E., Zichichi, J., y Ergul, A., (2009). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0— An ArcGIS extension for calculating shoreline change. USGS, Open-File Report 2008-1278.

Thieler, E. y Hammer-Klose E., (1999). National assessment of coastal vulnerability to sea level rise: preliminary results for the U.S Atlanta Coast. USGS, Massachusetts.

Thieler, E. y Hammer-Klose E., (2000). National assessment of coastal vulnerability to sea level rise: preliminary results for the U.S Gulf of Mexico Coast. USGS, Massachusetts.

Vega, E. y Vega, M., (2005). Vulnerabilidad ante desastres naturales. Cómo actuar? Universidad de Costa Rica.

Viles, H., y Spencer, T., (1995). Coastal problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coasts. Oxford University Press. Inglaterra.

Wright, L. y Short, A., (1983). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis" Marine Geology. Elsevier Science Publisher, N. 56, pp. 93-118. Amsterdam.

Woodman R. y Mabres A., (1993). Formación de un cordón litoral en Máncora, Perú, a raíz del niño de 1983. Perú: Instituto Geofísico del Perú, Universidad de Piura.

White, Stephen, Wang, Yong, (2003). Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic changes in the North Carolina coastline. Remote sensing of environment. N., pp 39 - 47.

Wong, P. Losada, I. Gattuso, J. Hinkel, J. Khattabi, A. McInnes, K. Saito, Y. y Sallenger, A., (2014). Climate change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nueva York: Cambridge University Press. N. 5 pp.361 – 409.

Zhang, K., B. C. Douglas y S. P. Leatherman, (2004). Global warming and coastal erosion. Climate Change, N. 64, pp. 41-58.

Zilbert, L. y Romero, G., (2012). Herramientas para la gestión del riesgo de desastre. DIPECHO.