



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD COSTERA DEL VALLE DE
CAÑETE, LIMA, PERÚ

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

JOSE MIGUEL RAMIREZ GASTON APARICIO

ASESOR: DR. CARLOS TAVARES CORRÊA

2017



AGRADECIMIENTOS

Esta tesis contó con el apoyo de la Dirección de la Gestión de la Investigación de la PUCP para la compra de fotografías aéreas y otros materiales (proyecto DGI 153 – 2005-1-0018).

Además quisiera agradecer a mi asesor y coordinador del proyecto, el Dr. Carlos Tavares, por su orientación, al geógrafo Gustavo Rondón por sus consejos, al Dr. Martín Timaná por sus lecciones en los talleres de tesis, a mis compañeros de clase David Lau y Daniela Larrabure por ayudarme con el levantamiento de perfiles de playa y a mi familia por todo el apoyo.



RESUMEN

A nivel mundial se observa un incremento del nivel del mar y una mayor intensidad y frecuencia de fenómenos naturales. En el Perú, una gran parte de la población está asentada en la costa y las consecuencias de estos cambios son ignoradas por falta de estudios. Esta investigación buscó identificar la vulnerabilidad a la erosión costera del Costera, con el propósito de contribuir a la toma de decisiones y aportar al manejo integrado de la zona marino-costera y a la adaptación al cambio climático. Se esperaba que el índice identifique la vulnerabilidad a la erosión costera y permita comparar sectores dentro del área de estudio. Además se esperaba encontrar que las playas de la zona de estudio estén siendo erosionadas. Para realizar el índice se hizo un análisis espacial y temporal del litoral, que utilizó métodos de teledetección, cartografía, análisis estadístico y levantamiento de información en campo, que permitió hallar variables físicas y socioeconómicas las cuales fueron procesadas e integradas en un Sistema de Información Geográfica. Los resultados mostraron que los sectores uno y dos, situados en la parte norte del área de estudio, tienen una vulnerabilidad moderada, mientras que el tres, ubicado en la parte sur, una vulnerabilidad baja; además, se descubrió que ha sucedido una gran sedimentación en las playas en un periodo de cincuenta y cinco años. Se concluyó que el índice es una buena herramienta para identificar la vulnerabilidad de la costa y puede servir como insumo para la gestión del riesgo de desastres y la planificación del territorio.

ABSTRACT

The world is observing an increase in sea level and in the frequency and intensity of coastal hazards. The majority of the population in Peru is settled on the coast and the consequences of these changes are ignored due to a shortage of research. This study aimed to identify the vulnerability to coastal erosion of the valley of Cañete in Lima by elaborating a Coastal Vulnerability Index, with the purpose of contributing to decision-making, the integrated management of the marine-coastal zone and the adaptation to climate change. It was expected that the index would identify the vulnerability to coastal erosion and allow the comparison of sectors within the study area. In addition it was expected to find that the beaches in the study area were being eroded. To perform the index a spatial and temporal analysis, which included remote sensing, cartographic, statistical and field survey methods, was made to find physical and socioeconomic variables that were processed and integrated in a Geographic Information System. The results from the index showed that sectors one and two, located on the northern part of the study area, have a moderate vulnerability while sector three, situated on the south, has a low vulnerability. It was also noticed that a strong sedimentation had taken place in the beaches over a period of fifty-five years. It was concluded that the index is an ideal tool for identifying coastal vulnerability and can serve as an input for disaster risk management and territorial planning.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
TABLA DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
I. PROBLEMÁTICA.....	2
II. JUSTIFICACIÓN.....	4
III. OBJETIVOS.....	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
IV. HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO 1	
MARCO CONCEPTUAL.....	6
1.1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1.1. DEFINICIONES.....	6
1.1.2. GEOMORFOLOGÍA LITORAL.....	7
1.1.2.1. MOVIMIENTOS DE AGUA.....	8
1.1.2.2. PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN EL LITORAL.....	11
1.1.2.3. PRINCIPALES FORMAS DE LA COSTA.....	14
1.1.3. VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR Y CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA.....	16
1.1.4. EL RIESGO DE DESASTRES.....	20
1.2. ANTECEDENTES.....	21
1.2.1. EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA.....	21
1.2.2. EL USO DE SIG EN EL IVC.....	23
CAPÍTULO 2	
ÁREA DE ESTUDIO.....	24
2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BIÓTICAS.....	25
2.2. POBLACIÓN.....	27
2.3. ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	31

CAPÍTULO 3	
METODOLOGÍA.....	33
3.1. ELECCIÓN DE LAS VARIABLES Y DIVISIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO POR SECTORES.....	34
3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA.....	36
3.2.1. VARIABLES FÍSICAS.....	37
3.2.1.1. PENDIENTE DE LA PLAYA.....	37
3.2.1.2. ALTURA PROMEDIO DE LAS OLAS.....	39
3.2.1.3. GEOMORFOLOGÍA	39
3.2.1.4. TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA.....	40
3.2.2. VARIABLES SOCIOECONÓMICAS.....	41
3.2.2.1. DENSIDAD POBLACIONAL.....	41
3.2.2.2. USO DE SUELO.....	42
3.2.3. COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES DEL IVC.....	43
 CAPÍTULO 4	
RESULTADOS.....	44
4.1. PENDIENTE DE PLAYA.....	44
4.2. ALTURA PROMEDIO DE LAS OLAS.....	46
4.3. GEOMORFOLOGÍA.....	48
4.4. TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA.....	50
4.5. DENSIDAD POBLACIONAL.....	52
4.6. USO DE SUELO.....	54
4.7. RESULTADOS DEL IVC.....	56
 CAPÍTULO 5	
DISCUSIÓN.....	58
 CAPÍTULO 6	
CONCLUSIONES.....	65
 BIBLIOGRAFÍA.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países en mayor riesgo por el INM (escenario A1B del IPCC).....	3
Tabla 2. Variables del IVC	43
Tabla 3. Cálculo del IVC por sectores.....	56
Tabla 4. IVC con variables físicas.....	59
Tabla 5. Rangos de vulnerabilidad por IVC.....	60
Tabla 6. IVC con variables socioeconómicas.....	61



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Perfil de la costa.....	7
Figura 2. Componentes de una ola.....	8
Figura 3. Tipos de rompientes.....	10
Figura 4. Morfología de la costa.....	15
Figura 5. Geometría del perfil de playa activo para la derivación de la regla de Brunn	19
Figura 6. Ubicación del área de estudio.....	24
Figura 7. Población por grupos de edad.....	28
Figura 8. Nivel educativo	29
Figura 9. Material predominante en las paredes	29
Figura 10. Acceso a servicios higiénicos	31
Figura 11. Ocupación en su centro de labor	32
Figura 12. Actividad económica de su centro de labor	32
Figura 13. Esquema de la metodología.....	33
Figura 14. Sectores del área de estudio.....	35
Figura 15. Perfil de playa 1.....	44
Figura 16. Ubicación de los perfiles de playa.....	45
Figura 17. Perfil de playa 2.....	46
Figura 18. Perfil de playa 3.....	46
Figura 19. Tamaño promedio de las olas.....	47
Figura 20. Geomorfología del área de estudio.....	49
Figura 21. Tasa de cambio de la línea de costa	50
Figura 22. Tasa de cambio de la línea de costa por transectos.....	51
Figura 23. Movimiento neto de la línea de costa.....	52
Figura 24. Densidad poblacional por sectores.....	53
Figura 25. Uso de suelo por sectores.....	55
Figura 26. Resultados del IVC por sectores	57
Figura 27. Evolución de la costa entre 1961 y 2016.....	62

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
DSAS	Digital Shoreline Analysis System
ENOS	El Niño-Oscilación del Sur
FEN	Fenómeno El Niño
FLN	Fenómeno La Niña
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
INGEMMET	Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico
INM	Incremento del Nivel del Mar
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
IPCC	International Panel for Climate Change
IVC	Índice de Vulnerabilidad Costera
MINDEF	Ministerio de Defensa
SIG	Sistemas de Información Geográfica
USGS	United States Geological Survey

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo pasado se viene utilizando la expresión Cambio Climático para explicar el aumento de la temperatura de la superficie y atmósfera terrestre como consecuencia del incremento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Mediante el efecto invernadero los GEI retienen parte de la energía emitida por el planeta luego de haber sido calentada por la radiación solar, lo que garantiza una temperatura global adecuada para vivir. De no ser por estos gases, la temperatura promedio global sería de 18 °C bajo cero, mientras que en el presente es de 15 °C. Las fuentes del aumento de GEI en la atmósfera son actividades humanas como la industria, producción de energía, actividad agropecuaria, quema de biomasa, entre otras (Barco y Vargas, 2010). Se calcula que desde que empezó la era industrial en el siglo 18, la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado en 150% (De Ambrosio, 2014). Además, la temperatura global promedio se ha elevado 0.85 °C entre 1880 y 2012, y las últimas tres décadas en promedio han sido sucesivamente más calientes que cualquier década pasada (IPCC, 2014).

Entre los cambios que se vienen observando en la naturaleza a causa del calentamiento global se encuentran el deshielo de glaciares y capas de hielo, la variabilidad de las precipitaciones, la pérdida de biodiversidad por desaparición, modificación y desplazamiento de ecosistemas, y el incremento del nivel del mar (Stern, 2007). El nivel del mar ha tenido fluctuaciones a lo largo de la historia que corresponden a periodos de calentamiento y enfriamiento prolongados en el clima global. Por ejemplo, durante el intervalo cálido del Cretacio medio (ca. 80-90 Ma) el promedio global del nivel del mar era entre 100 m y 170 m más alto que hoy en día (Miller et. al., 2005). Algo aún más sorprendente es la observación de grandes y rápidas variaciones en el nivel del mar que ocurrieron entre el Triásico y el Eoceno medio (ca. 250-50 Ma) (Haq et al., 1987; Hallam, 1992). Hoy en día el nivel del mar viene elevándose

lentamente y las consecuencias para los humanos y la naturaleza pueden ser muy graves.

I. PROBLEMÁTICA

El incremento del nivel del mar (INM) se produce por la expansión termal y el derretimiento del hielo terrestre. La expansión termal, que ha provocado una elevación de 1.1 mm/año entre 1993 y 2010 (IPCC, 2014), ocurre porque la densidad del agua cambia con diferentes niveles de temperatura, salinidad y presión. Como regla general, mientras los océanos se calienten, se expandirán y el nivel del mar se elevará. Esta parte del INM se encuentra bien entendida y puede ser modelada con precisión. Por otro lado, se tiene el derretimiento del hielo de glaciares y capas de hielo que aportan grandes cantidades de agua dulce a los océanos y han producido un aumento de 1.36 mm/año entre 1993 y 2010 (IPCC, 2014). Por ejemplo, la capa de hielo de Groenlandia y la capa de hielo del oeste Antártico son dos lugares de gran importancia que si fueran a derretirse en su totalidad, el nivel del mar aumentaría en 12 m. Sin embargo, el riesgo de que eso suceda en los próximos siglos es muy bajo (Nordhaus, 2013). El Quinto Informe de Evaluación de la IPCC (2014), señala que durante el periodo de 1901 a 2010, el promedio global del nivel del mar creció 0.19 m con un promedio de 1.7 mm/año. Se pronostican diferentes escenarios para el futuro y todos concuerdan que el nivel del mar seguirá incrementando.

El INM tendrá como consecuencias el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos, la erosión costera, los niveles de inundación permanente, la intrusión de agua marina en los acuíferos costeros, y de la influencia mareal de estuarios y sistemas fluviales (Anthoff et al. 2006). Se estima que 70% de las playas arenosas del mundo se encuentran en estado de erosión y que, con la subida de 1 m del nivel del mar actual, 145 millones de personas deberán ser trasladadas del lugar de donde viven y 1 billón de dólares

en bienes serán afectados (Willis et al. 2010; Stern, 2007). Adicionalmente, 4% de la población mundial vive a una altitud igual o menor a 10 msnm (Nordhaus, 2013). La Tabla 1, muestra los cinco países que se encuentran en mayor riesgo por el INM.

Tabla 1: Países en mayor riesgo por el INM (escenario A1B del IPCC)

País	Porcentaje en riesgo		Población total (miles)	Población en riesgo (miles)
	Población	área		
Bahamas	100	100	323	323
Maldivas	100	100	295	295
Bahréin	91.9	60.3	725	666
Kiribati	91.8	91.2	99	91
Holanda	74.9	76.9	16,300	12,200

Fuente: Nordhaus, 2013

La costa peruana cuenta con aproximadamente 3080 km de litoral (MINDEF, s.f.) y alberga aproximadamente a 60% de la población del país (Novoa, 2007). A lo largo de su extensión se pueden encontrar asentamientos muy cercanos al mar. En la costa del valle de Cañete, lugar elegido como zona de estudio, se han desarrollado 10 centros poblados que se hallan a sólo decenas de metros del océano Pacífico. La magnitud de las consecuencias del INM y su desconocimiento a nivel local ha llevado a la elaboración de un método de medición del riesgo costero llamado Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC). En el mundo se viene utilizando el IVC para cuantificar de forma objetiva el riesgo de que ocurran cambios físicos causados por el INM. Para ello se analizan variables físicas y humanas y sus resultados permiten realizar acciones de mitigación, prevención y ordenamiento del territorio mediante la clasificación de usos del territorio. Este trabajo de investigación pretende realizar un IVC en la zona costera del valle de Cañete para identificar las zonas vulnerables y así aportar a la gestión del territorio y calidad de vida de la población.

II. JUSTIFICACIÓN

Los cambios en el nivel del mar no serán iguales en todo el mundo (Meehl et al., 2007). Debido a esto se vuelve una necesidad el desarrollo de estimados regionales y locales de vulnerabilidad costera, requeridos para el análisis efectivo del riesgo. No se conocen estudios de vulnerabilidad en la parte de la costa peruana que se ha elegido estudiar y por ende la elaboración de un IVC podría servir como un insumo para que las autoridades orienten eficientemente la gestión del riesgo de desastres.

Adicionalmente, esta investigación podría formar parte de una base de datos que vaya acumulándose con el fin de tener un índice de vulnerabilidad costera de toda la costa del Perú o por lo menos de las zonas donde existan asentamientos humanos. Siguiendo esta idea, la metodología será planteada de manera que pueda ser replicada en estudios futuros.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar la vulnerabilidad a la erosión de la costa del valle del río Cañete a través de un Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) con el propósito de contribuir a la toma de decisiones y aportar al manejo integrado de la zona marino-costera y a la adaptación al cambio climático.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las características físicas y socioeconómicas del área de estudio
2. Seleccionar y analizar las variables físicas y socioeconómicas más susceptibles al riesgo de erosión costera en el área de estudio
3. Aplicar el IVC con base en el SIG

IV. HIPÓTESIS

El IVC identifica la vulnerabilidad a la erosión costera y permite comparar sectores dentro del área de estudio. Además, debido a la tendencia mundial al aumento del nivel del mar, se verá que las playas de la zona de estudio están siendo erosionadas.



CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

Este capítulo consiste de dos partes. Por un lado está el marco teórico que explicará la teoría detrás del tema de investigación y por otro están los antecedentes del IVC.

1.1. MARCO TEÓRICO

Esta sección está dividida en cuatro partes: Definiciones de términos relacionados al tema de estudio, geomorfología litoral, el INM y sus efectos sobre la línea de costa, y el riesgo de desastres. Se buscará mostrar la teoría detrás del tema de estudio.

1.1.1. DEFINICIONES

Antes de continuar con este estudio es necesario precisar algunos términos que conviene que sean aclarados desde un inicio. Las zonas costeras se consideran zonas donde la tierra y el mar se encuentran e interactúan. El ancho de la zona costera varía dependiendo de las características del medio ambiente, de las interacciones de los procesos costeros marinos y terrestres, y de las necesidades de manejo del territorio (EEA, 2016). Por ejemplo, el límite de la tierra puede ser de unos cientos de metros hacia el interior en la cima de un acantilado o puede estar varios kilómetros tierra adentro en zonas donde hayan extensas dunas de arena; el límite hacia el mar puede ser el borde de la plataforma continental y suele ser por lo menos de varios kilómetros. La zona litoral es la porción del perfil costero donde los sedimentos son transportados por la acción de las olas. El límite hacia el mar se define por la profundidad del agua a la cual cesa el transporte significativo de sedimentos por acción de las olas y el límite terrestre es el límite de la acción de las olas (Davidson-Arnott, 2010). Las playas son acumulaciones de sedimentos compuestos de arena, grava y cantos rodados,

situados en el límite del mar y el continente (Rice, 1983). Forman parte de la porción del perfil sujeto a la acción de las olas. La playa interior se extiende desde el límite bajo el mar de transporte significativo de sedimentos por acción de las olas a la línea de marea baja. La playa exterior es la parte del perfil donde no hay transporte significativo de sedimento por acción de las olas. La zona inter-mareal se forma entre los límites de la marea baja y alta. La línea de costa es el límite entre la arena mojada y seca, que varía dependiendo del comportamiento de la marea y las olas (Davidson-Arnott, 2010). En la Figura 1 se puede apreciar mejor la ubicación de estas zonas en el perfil costero. Se debe mencionar que no existe un consenso general sobre algunas de las definiciones que se acaban de presentar pero para efectos de este estudio se utilizaran las que se han nombrado.

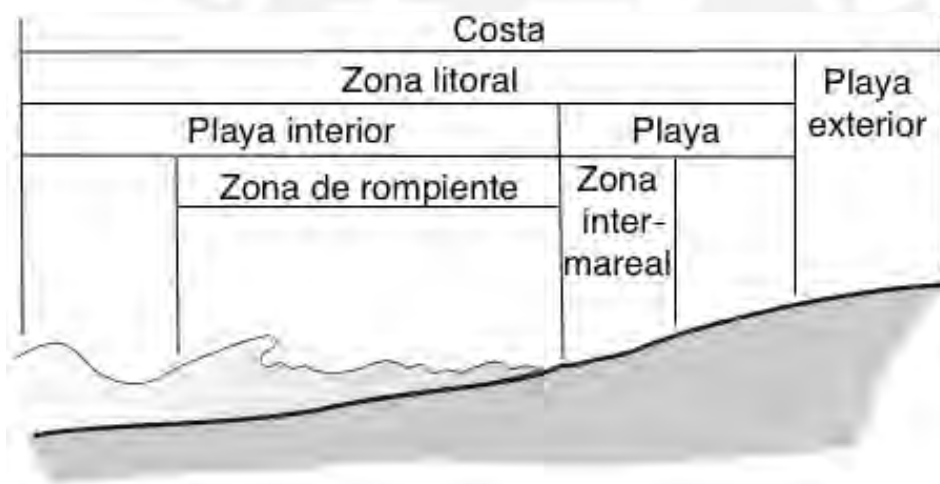


Figura 1: Perfil de la costa (fuente: elaboración propia)

1.1.2. GEOMORFOLOGÍA LITORAL

La geomorfología es una ciencia que se ocupa de estudiar la forma de la tierra. Estudia los fenómenos que se dan en la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios tipos de materiales y procesos, implicando los sólidos, líquidos y gaseosos (Schumm, 1991). El relieve de la superficie es el resultado de la interacción de fuerzas endógenas y exógenas. Las primeras

crean las grandes elevaciones y depresiones del planeta y las segundas transforman el relieve a través de procesos que se dan de forma continua y se agrupan en la cadena meteorización-erosión, transporte y sedimentación. El resultado de la interacción de ambas fuerzas se manifiesta en la creación de un conjunto de modelados erosivos y deposicionales (Gutiérrez, 2008). La geomorfología litoral se preocupa de la evolución de los modelados litorales, de los procesos que inciden sobre los mismos y de los cambios que tienen lugar (Bird, 2000). Es en la costa donde ocurren los procesos geomorfológicos más rápidos y más lentos del mundo (Cooke y Doornkamp, 1974). A continuación se presentarán los principales factores que dan forma a la geomorfología de los litorales, con mayor énfasis en los que ocurren en el Perú y en la zona de estudio.

1.1.2.1. MOVIMIENTOS DE AGUA

Los movimientos de agua se producen de forma constante, tanto en superficie como en profundidad. Los tres tipos principales de movimientos de agua son las olas, las corrientes y las mareas.

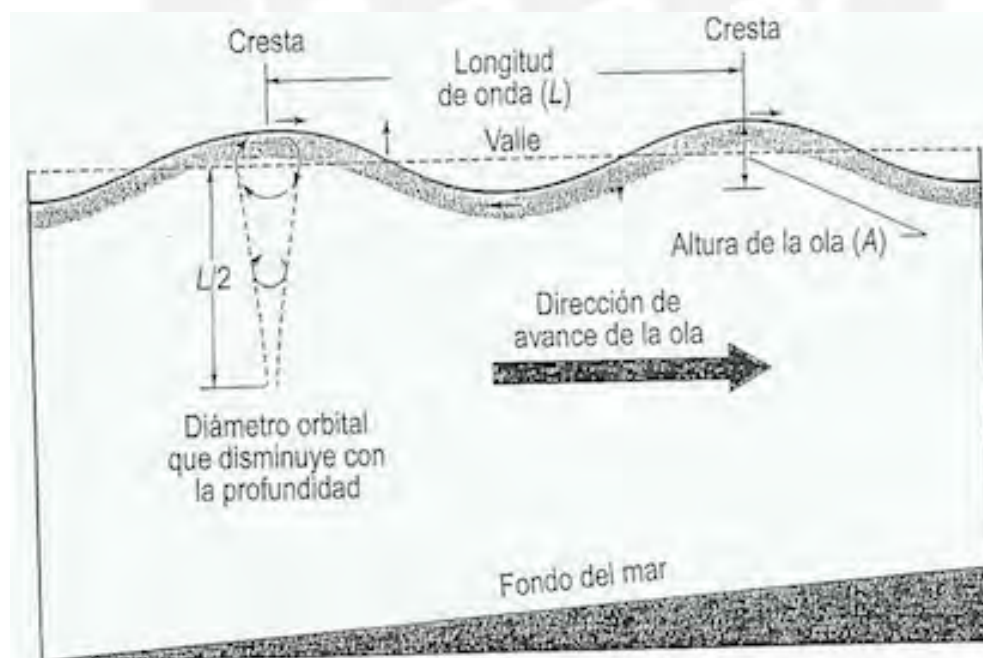


Figura 2: Componentes de una ola (fuente: Gutiérrez, 2008)

Las olas son ondulaciones sobre la superficie del agua producidas por el viento. Se pueden dividir en dos grandes grupos. Por un lado están las olas de mar de leva (“sea wave”), que se producen dentro del “fetch” o superficie del océano donde el viento actúa para dar origen a las olas (el “fetch” se caracteriza por lo caótico de las olas en cuanto a alturas y periodos). Las olas de mar de fondo (“swell wave”), por otro lado, son aquellas que abandonan la zona de origen, se organizan según su periodo y se agrupan formando trenes de olas. Como se puede ver en la Figura 2, las olas se caracterizan por movimientos orbitales del agua que disminuyen rápidamente hacia el fondo hasta que el movimiento es muy débil, a una profundidad aproximadamente igual a la mitad de la longitud de la ola ($L/2$). La profundidad a la que la acción de las olas es inapreciable se denomina base de la ola. La altura de la ola (A) es la diferencia en elevación entre la cresta y el valle. El periodo (T) es el tiempo que demora una ola en recorrer una distancia igual a la de su longitud de onda (L). La altura y el periodo de la ola están determinados por la velocidad, la duración y la extensión del mar sobre la que puede soplar el viento en el “fetch” (Gutiérrez, 2008). Una ola rompe en aguas superficiales cuando su inclinación (A/L) supera un ángulo de 120° , que hace las partículas de agua que se encuentran en la cresta excedan la velocidad de la ola y se derramen sobre el frente de ella. Las olas que se acercan a zonas de poca profundidad también rompen por un aumento en su inclinación, que en este caso sucede por un incremento en la altura de la ola y una reducción en su longitud y velocidad. En aguas superficiales, la inclinación límite es menor a la de aguas profundas y es parcialmente controlada por la profundidad relativa y la pendiente de la playa interior. En este caso las olas empiezan a romper a profundidades levemente mayores a su altura. Además de lo que ya se ha mencionado, el material y la forma de la playa y la playa interior determinan la ubicación y el tipo de rompiente (Davidson-Arnott, 2010). Las rompientes son de cuatro tipos (Figura 3): las rompientes en derrame, que se desarrollan en zonas superficiales y

producen gran cantidad de espuma; las rompientes en voluta, típicas de fondos marinos más profundos donde la cresta se curva al caer sobre la superficie del agua y deja un vacío al medio que le da un aspecto de tubo; las rompientes onduladas, características de aguas profundas, que tienen una cara frontal con poca espuma y se rompen por su base; y las rompientes de colapso, que son un intermedio entre las onduladas y en voluta (Gutiérrez, 2008). La disipación de la energía de una ola se da en la zona de “swash”, que se extiende desde la línea de marea baja hasta el punto más alto donde llega el poder de la ola. La onda ascendente o el “swash” es conducida sobre todo por el empuje de la ola y moderada por la pendiente de la playa y la infiltración en los sedimentos. El flujo de retorno o “backswash” es impulsado principalmente por las fuerzas gravitacionales y por lo tanto depende de la pendiente de la playa y del volumen de agua restante. La dinámica de la zona de “swash” es crítica para el intercambio de sedimentos entre la playa y el mar y para la evolución de la forma de la playa en respuesta a las condiciones cambiantes de las olas y el nivel del agua (Davidson-Arnott, 2010).

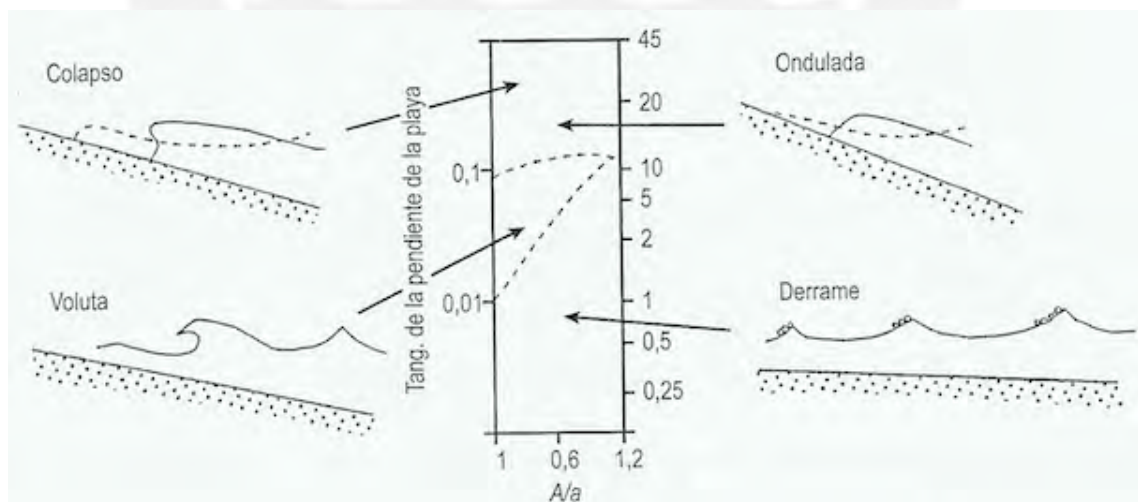


Figura 3: Tipos de rompientes (fuente: Gutiérrez, 2008)

La acción de las olas produce corrientes de agua que van de forma perpendicular y paralela a la costa. Las corrientes perpendiculares son flujos de

retorno debajo de la superficie del mar que compensan el transporte de agua terrestre producido por las olas. Este flujo tiene lugar en la parte inferior de la columna de agua donde las concentraciones de sedimentos son más altas y es un mecanismo importante para la transferencia de los sedimentos hacia el mar. Las corrientes paralelas llevan el nombre de deriva litoral o desplazamiento de playa. Este tipo de corriente sucede cuando una ola se aproxima a la costa oblicuamente. Su avance físico ingresará a la playa en la dirección en la que venía y bajará de forma recta. Esta acción generalmente produce un ángulo recto y hace que los sedimentos transportados sigan un trazado parabólico paralelo a la costa (Gutiérrez, 2008). Las olas también producen corrientes de retorno (“rip currents”) que son corrientes fuertes, localizadas y estrechas de agua que se mueven lejos de la orilla, cortando a través de la zona de acción de las olas como un río moviéndose mar adentro. Las corrientes de retorno pueden alcanzar hasta 30 m de ancho y velocidades de hasta 8 km/h (Davidson-Arnott, 2010).

Las mareas se presentan como movimientos periódicos y alternativos de ascenso y descenso de las aguas del mar producidos por la atracción del sol y de la luna (RAE, s.f.). La elevación y el descenso mareal provocan una transferencia horizontal de agua a gran escala, movimiento que lleva el nombre de corriente mareal. Las mareas juegan un papel importante en el modelado de las costas ya que a ellas se debe la elevación y el descenso del nivel de acción de las olas. Además, estas corrientes pueden llegar a ser importantes agentes de erosión en bahías y estrechos donde los rangos mareales son mayores (Rice, 1983).

1.1.2.2. PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN EL LITORAL

Tres procesos de gran importancia influyen en la formación y evolución de la costa: la erosión, el transporte y la sedimentación. La erosión se define como el

desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento (RAE, s.f.). La erosión tiene cuatro aspectos: la obtención del material suelto por un agente erosivo, el desgaste de un material por el choque de otros materiales en tránsito, el desgaste mutuo de los detritos de los materiales en tránsito por contacto entre sí, y el transporte. La erosión marina se puede dividir entre el agente que será erosionado y los procesos erosivos. Entre los factores que influirán en el agente que será erosionado están el tipo y la dureza del material; los caracteres estructurales del material, particularmente su posición y grado de diaclasamiento y fracturación; su exposición a la acción de las olas; la profundidad del agua próxima a la costa; y su abundancia y tamaño (Thornbury, 1954). Las olas son los agentes de erosión marina más importantes. Al romper una ola, la energía potencial que se encontraba en la cresta de la ola, se transforma en energía cinética, incrementando la capacidad del agua para dar origen a rasgos tales como acantilados y plataformas costeras. Esto trae consigo dos procesos mecánicos: la acción hidráulica y la corrosión. La primera se refiere al impacto del agua en movimiento mientras que la segunda a la acción abrasiva de fragmentos de roca sobre una superficie. Por otro lado, los procesos químicos suceden a través de la corrosión, que se define como la alteración química de las rocas en contacto con el agua de mar. Esta no se limita a la vecindad inmediata de la acción de las olas, sino que además puede darse cuando partículas de agua se proyectan por encima de la zona de rompiente y tocan un pedazo de tierra (Rice, 1983).

El transporte de sedimentos costeros sucede cuando los procesos físicos del mar interactúan con las formas terrestres. La principal fuente del transporte de sedimentos costeros es la actividad de las olas, seguido de las mareas y los vientos. La dirección del transporte neto de sedimentos depende del equilibrio de todas las fuerzas que actúan sobre el sedimento. A pesar de que material fino puede ser transportado mar adentro en suspensión, mucho del material que ha

sido erosionado de la costa o proveniente de otras fuentes (e.g. fluviales, eólicas, entre otras) se acumula en las playas y en el lecho marino, donde está sujeto a la acción constructiva de las olas. La deriva litoral tiene un rol importante en el transporte de estos sedimentos ya que produce un movimiento en zigzag de ellos a lo largo de la costa que puede llegar a recorrer decenas de metros por día. La deriva litoral además funciona de maneras ligeramente diferentes dependiendo del sedimento y su distribución determinará cómo cambiará la costa. Un ligero cambio en el suministro de sedimentos, dirección y magnitud del oleaje o cualquier otra influencia costera puede hacer que la deriva litoral cambie, afectando la formación y evolución de una costa. Los cambios en el desplazamiento de playa se pueden dar por factores como: cambios geológicos (e.g. cambios en la orilla y aparición de barreras físicas naturales), cambios en las fuerzas hidrodinámicas (e.g. cambios en el comportamiento de las olas), alteraciones en el balance de sedimentos (e.g. agotamiento de las fuentes de sedimentos y grandes crecidas en los ríos), e intervenciones humanas (e.g. construcción de espigones, rompeolas, puertos y extracción de material con fines comerciales) (Reeve et al., 2004). La deriva litoral también es un factor clave para determinar el presupuesto de sedimentos en una determinada parte de la costa. De forma general cuando más material sea añadido que removido de una zona costera, habrá un excedente y la costa ganará terreno al mar. Por otro lado, cuando más material sea removido que añadido, habrá un déficit y la costa se retirará (Morton, s.f.).

La sedimentación resulta de una pérdida en el poder de transporte. Se depositan los sedimentos cuando el “swash” es más fuerte que el “backwash” y cuando las olas son de tipo constructivas. Es más probable que suceda en zonas de poca profundidad, zonas protegidas de la acción de las olas como bahías o caletas, y en lugares donde haya poco viento y un buen suministro de material.

1.1.2.3. PRINCIPALES FORMAS DE LA COSTA

La geomorfología litoral ofrece una diversa gama de formas que son el resultado del grado en el que se ha dado la erosión y sedimentación en una costa. A continuación se presentarán algunas formas que se pueden encontrar en la costa peruana y alrededor del área de estudio (Figura 4). Para un mayor detalle de todas las formas litorales se recomienda revisar la bibliografía adjunta. La erosión marina produce acantilados y terrazas de erosión o plataformas costeras. Los acantilados pueden definirse como laderas abruptas que limitan las costas (Emery et al., 1982). Los más significativos se localizan en áreas costeras correspondientes a cadenas montañosas, macizos antiguos, afloramientos de rocas coherentes de cuencas sedimentarias y relieves volcánicos (Thornbury, 1954). Según Bird (2000), tres cuartas partes de las costas del mundo están compuestas por acantilados. Durante el retroceso de la línea de costa debido a la erosión, la retirada del acantilado se realiza a distintas velocidades, dependiendo de la dureza del material que lo compone y de su exposición a la acción de las olas. Las zonas que sean fácilmente erosionadas tendrán grandes aberturas que son conocidas como ensenadas, bahías o caletas. En áreas donde las rocas son más resistentes quedarán promontorios, los cuales están sujetos al ataque de las olas. Si el oleaje golpea por ambos lados de un promontorio, puede hacerse un orificio que lleva el nombre de arco marino. Si el agujero no atraviesa completamente la estructura, se pueden crear grutas o cuevas; estas formas también se pueden dar en acantilados que están expuestos a las rompientes. Las porciones del promontorio separadas de la línea de costa se llaman peñascos o columnas. Se debe señalar que un acantilado que reciba un ataque directo de las olas y donde no se aprecie una terraza de erosión en su base, se clasificará como activo y uno en el que exista una plataforma que separe el máximo alcance del mar de la estructura, se clasificará como pasivo (Rice, 1983). Las plataformas de erosión litoral son rampas de amplitud

variable, desarrolladas a expensas de los relieves costeros y frecuentemente prolongadas mar adentro por una terraza de acumulación, cuyo talud terminal marca el límite del dominio litoral (Thornbury, 1954).

Una de las principales formas que se producen por la deposición marina son las playas, que se presentan en aproximadamente 40% de las costas del mundo (Bird, 2000). Como ya se mencionó, la construcción de las playas es resultado de la acción del oleaje y la corriente paralela a la costa que se genera en la zona de rompiente. Por esta razón, las playas están en constante cambio a pesar de que en cortos periodos de observación no lo parezcan. Por otro lado, los bancos y barras son diversos tipos de obstáculos sumergidos o emergidos de sedimentos que se forman en el fondo del mar por la acción de las olas y las corrientes (Gutiérrez, 2008).

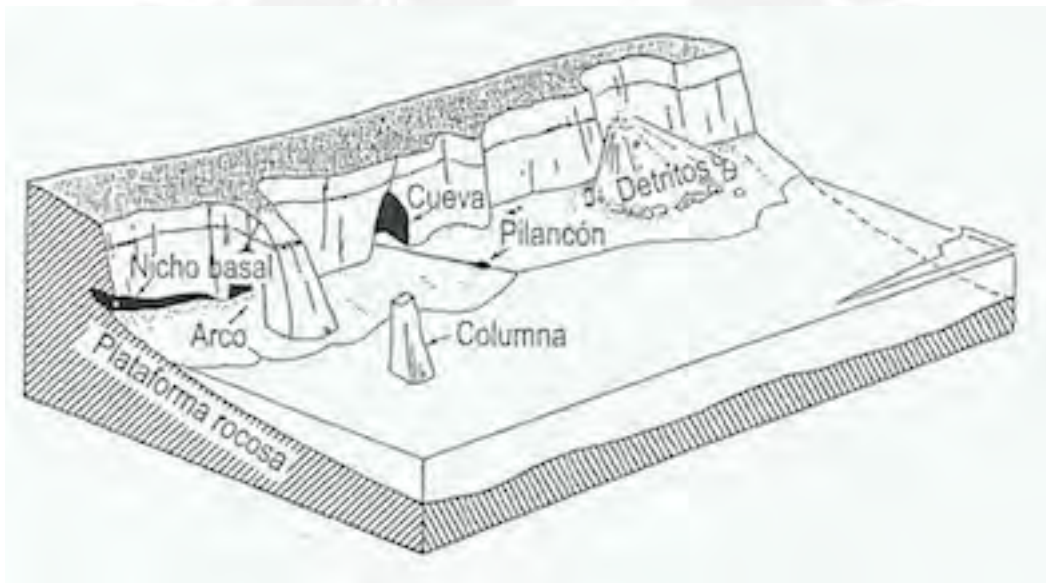


Figura 4: Morfología de la costa (fuente: Gutiérrez, 2008)

Adicionalmente, las flechas son formas de deposición lineal unidas en un extremo a la costa y situadas por lo general en los puntos donde hay un cambio brusco en la alineación costera (Rice, 1983). Por último, las desembocaduras de los ríos presentan sistemas de valles sumergidos llamados estuarios, que se crean por la acumulación de sedimentos fluviales (Darlymple et al., 1992). Los

estuarios están influenciados principalmente por los rangos mareales y en menor medida por la acción de las olas. Por ejemplo, en una zona con pequeños rangos mareales (como la costa peruana), el estuario estará dominado por el oleaje y las corrientes de descarga fluviales, y en su desembocadura se desarrollarán playas, flechas y bancos de arena (Gutiérrez, 2008).

1.1.3. VARIACIONES EN EL NIVEL DEL MAR Y CAMBIOS EN LA LÍNEA DE COSTA

Existen dos métodos principales para medir el nivel del mar: uno es el nivel relativo del mar, que con el uso de mareógrafos mide la altura del agua relativa a la tierra; otro es la altimetría satelital, que mide la distancia entre un satélite en órbita terrestre y la superficie del océano (Pugh y Woodworth, 2014). Hay una tendencia a pensar en el nivel del mar como una superficie uniforme alrededor del mundo, la cual es usada como datum para medir elevaciones en tierra y depresiones en el océano. En realidad, el nivel del mar no es igual en todas partes y varía con el tiempo. Los niveles del océano en el Pacífico son ligeramente más altos que los del Atlántico y los niveles cerca al ecuador son más altos que aquellos en los polos. Los factores que influyen el nivel del mar son: condiciones oceanográficas (e.g. oleajes de gran magnitud y tormentas), condiciones meteorológicas (e.g. presión atmosférica, viento), condiciones terrestres (e.g. descarga de los ríos) y condiciones geofísicas (e.g. anomalías en el geoide). Los factores que influyen cambios temporales en el nivel del mar van desde cambios de alta frecuencia en mareas astronómicas (diarias y temporales) hasta cambios de baja frecuencia en el clima global (e.g. Fenómeno El Niño). Adicionalmente, grandes fluctuaciones climáticas sobre periodos de miles de años, como la que viene siendo acelerada por el calentamiento global, hacen que el nivel del mar global baje o suba conforme los mantos de hielo se van formando o derritiendo (Pugh y Woodworth, 2014).

El INM es un fenómeno natural que desde mediados del siglo 19 ha visto su ritmo de elevación superar la media de los dos milenios anteriores. Como ya se señaló en la sección de problemática, la expansión termal del océano y el derretimiento de los glaciares han sido los principales contribuyentes al INM en el siglo 20. Según el IPCC, desde principios de la década de 1970 la combinación de la pérdida de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano provocada por el calentamiento dan razón de aproximadamente el 75% de la elevación observada del nivel medio global del mar. Durante el periodo 1993-2010, la elevación media del nivel del mar mundial coincidió con la suma de las contribuciones observadas de la expansión térmica del océano debida al calentamiento (1.1 mm/a), el derretimiento de los glaciares (0.76 mm/a), el derretimiento del manto de hielo de Groenlandia (0.33 mm/a), el derretimiento del manto de hielo de la Antártica (0.27 mm/a) y el almacenamiento de agua del suelo (0.38 mm/a). La suma de estas contribuciones fue de 2.8 mm/a. El nivel medio global del mar seguirá aumentando durante el siglo 21. Todos los escenarios muestran que es muy probable que el ritmo del INM sea mayor al observado durante el periodo 1971-2010, debido al mayor calentamiento de los océanos y a la mayor pérdida de masa de glaciares y mantos de hielo. Se pronostica que el promedio global del INM para el periodo 2081-2100 sea de 26 a 55 cm para el escenario más optimista y de 45 a 82 cm para el escenario más pesimista. Además como esta elevación no será uniforme, se calcula que para fines del siglo 21 el nivel del mar aumente en aproximadamente más del 95% de las costas del mundo. Las proyecciones también señalan que alrededor del 70% de las costas de todo el mundo experimentarán un cambio de nivel del mar de alrededor de 20% del nivel del mar medio mundial. Es necesario mencionar que este es un campo de la ciencia que está en constante investigación y los datos son susceptibles a cambios (IPCC, 2014).

Cuando se discuten los impactos del INM es importante hacer una distinción entre inundación y erosión. Cuando el nivel del mar aumenta, la línea de marea alta migrará hacia arriba en proporción a la pendiente de la costa. Pendientes altas y bajos niveles de INM producen inundaciones insignificantes mientras que bajas pendientes y rápidos aumentos en el nivel del mar producen grandes inundaciones. La erosión, como ya se ha visto, es un proceso físico completamente diferente que implica una redistribución de arena desde la playa hacia el mar. El INM acelera la erosión costera porque facilita la penetración de las olas. Por ejemplo, lugares que antes no eran alcanzados por la acción de las olas, podrán llegar a serlo durante eventos de grandes oleajes. En ambos casos se produce una variación en la línea de costa. La relación entre la variación en el nivel del mar y la línea de costa fue estudiada por Brunn (1954, 1962), quien planteó un modelo bidimensional basado en el concepto de equilibrio de perfil de playa para estimar la erosión costera en respuesta al INM. Su modelo está basado en las siguientes suposiciones: El perfil de playa activo perpendicular a la línea de costa tiende hacia una forma de equilibrio para un régimen determinado de olas y se extiende hasta una denominada profundidad (normalmente 10 m) en la cual las ondas superficiales del océano ya no movilizan significativamente los sedimentos del fondo. El perfil de playa activo de equilibrio se define así como un perfil estadístico promedio idealizado sobre las fluctuaciones inducidas por las estaciones y tormentas, e incluye una parte submarina que constituye la mayor parte del perfil. Si las demás condiciones se mantienen estables y el nivel del mar aumenta, el perfil de playa activo alcanzará el equilibrio con el nuevo nivel del mar desplazándose hacia arriba y hacia la costa. La cantidad de sedimentos erosionados de la parte alta del perfil de playa es similar a la cantidad de sedimentos depositados en la parte inferior del perfil en la playa interior. Adicionalmente, no hay un intercambio de sedimentos entre el perfil de playa activo y el fondo del mar (más allá de la profundidad en la cual las ondas afectan los sedimentos). El

INM está correlacionado con la erosión de las playas. A pesar de que hay muchos factores que influyen en el modelamiento de la costa, esta prueba ha sido validada por estudios (Mimura y Nubuoka, 1996; Zhang et al., 2004; Brooks y Spencer, 2012) que concluyen que el INM promueve la erosión costera.

1.1.4. EL RIESGO DE DESASTRES

Para hacer un análisis del riesgo es necesario entender los tres elementos que convergen para que ocurra un desastre. Primero, el peligro o amenaza es el grado de exposición de un lugar a los fenómenos naturales en un periodo determinado, independientemente de lo que sobre dicha ubicación se construya. En general, es poco y muy costoso lo que el hombre puede hacer para reducir el peligro (Kuroiwa, 2002). Algunos de los fenómenos potencialmente destructivos que se pueden encontrar en el mundo son originados por el movimiento de placas tectónicas, erupciones volcánicas y eventos climáticos extremos. Los desastres que pueden ocurrir en la zona litoral del Perú son terremotos, huaycos, tsunamis e inundaciones causadas por oleajes fuertes (Ferradas, 2012).

Segundo, la vulnerabilidad es la condición de ser propenso o susceptible de daño o perjuicio. Por vulnerabilidad se debe entender las capacidad de una persona o grupo para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural. Implica una combinación de factores que determinan el grado hasta el cual la vida y la subsistencia queda en riesgo por un evento distinto e identificable de la naturaleza o de la sociedad (Blaikie et al., 1996). Adicionalmente, Kuroiwa (2002) menciona que la vulnerabilidad social es mayor en los estratos más humildes de los países en vías de desarrollo. Una población es vulnerable porque carece de conocimientos elementales sobre los fenómenos naturales intensos que la amenazan, no los comprende y no sabe qué medidas tomar para proteger su vida, salud y propiedades. También es

vulnerable porque no esta organizada y porque no dispone de medios económicos para defenderse.

Tercero, el riesgo se define como el resultado de la exposición de la construcción hecha por el hombre, con el grado de vulnerabilidad que le es inherente, frente al peligro al que se verá sometida. El desastre ocurre cuando un considerable número de personas experimenta una catástrofe y sufre un daño serio y/o perturbación de su sistema de subsistencia, de tal manera que la recuperación es improbable sin ayuda externa (Blaikie et al., 1996).

Por último, la mejor herramienta para reducir el riesgo de desastres es la gestión del riesgo. Este es un proceso planificado, concertado, participativo e integral que se orienta a la prevención y reducción de riesgos y al desarrollo de la capacidad de respuesta frente a desastres. En los últimos años se pueden distinguir hasta tres tipos o énfasis en la gestión del riesgo de desastres en Perú: la gestión prospectiva del riesgo mediante el desarrollo de estrategias de prevención de riesgos en el diseño e implementación de planes y proyectos de gestión pública, la gestión correctiva orientada a la reducción de riesgos ya existentes y la gestión reactiva del riesgo en la que se desarrollan planes y estrategias de preparación y respuesta frente a desastres (Ferradas, 2012).

1.2. ANTECEDENTES

En esta sección se discutirá el estudio que dio origen al IVC y estudios posteriores que han servido de guía para elaborar el IVC de esta tesis.

1.2.1. EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA

Propuesto por Gornitz (1990), el IVC es uno de los métodos más usados y simples para evaluar la vulnerabilidad a la erosión o inundación de una costa en relación al INM. El IVC proporciona una base numérica sencilla para clasificar secciones del litoral en términos de su potencial de cambio y se puede

utilizar para identificar regiones donde los riesgos pueden ser relativamente altos. El IVC consiste en identificar variables clave que representan procesos significativos que influyen en la vulnerabilidad y la evolución de la costa. La cantidad y tipología de las variables puede modificarse ligeramente según necesidades específicas. En general, la formulación del IVC incluye 6 o 7 variables que deben ser cuantificadas de acuerdo a su nivel de vulnerabilidad. Aunque la metodología puede variar en este paso, la cuantificación usualmente se basa en la definición de puntuaciones semi-cuantitativas según una escala de 1-5 (Gornitz, 1990; Hammar-Klose y Thieler, 2001); 1 indica una baja contribución a la vulnerabilidad costera de una variable específica para el área o sub-áreas estudiadas, mientras que 5 indica una alta contribución. Al final, los valores de cada variable se integran en un único índice. Una de las formulaciones más populares del IVC se basa en la raíz cuadrada de la media del producto de las variables y se ha utilizado ampliamente en aplicaciones a nivel local y regional. El Servicio Geológico de los EEUU (USGS) utilizó esta formulación para evaluar la vulnerabilidad potencial de la línea costera estadounidense a escala nacional (Hammar-Klose y Thieler, 1999) y en una escala más detallada para el servicio de parques nacionales (Thieler et al., 2002). Específicamente el USGS consideró 6 variables que se combinaron en la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f}{6}} \quad [2]$$

Donde “a” es la geomorfología, “b”, la tasa de cambio de la línea de costa, “c”, la pendiente de la costa, “d”, la tasa de aumento del nivel del mar, “e”, el promedio de altura de las olas, y “f”, el promedio del rango mareal.

El problema con el enfoque del IVC propuesto por Gornitz (1990) y adoptado por el USGS es la falta de consideración de datos socioeconómicos (e.g. número

de personas afectadas y costos económicos). Una solución para este problema ha sido modificar o extender la formulación original del IVC teniendo en cuenta los sistemas socioeconómicos. Por ejemplo, un estudio de Dwarakish et al. (2009) incluye una variable de uso y cobertura de suelo, y otro de Sousa et al. (2012) incluye una variable de percentil de ocupación que determina la cantidad de estructuras humanas sobre el área total de un sector de la zona de estudio.

1.2.2. EL USO DE SIG EN EL IVC

Las herramientas de SIG pueden apoyar en la aplicación espacial de los IVC. Los SIG pueden usarse para procesar datos espaciales relacionados con las variables del IVC y producir mapas que resaltan su distribución espacial. Los resultados del IVC también se pueden mostrar en mapas que resaltan las regiones más vulnerables. Los SIG también permiten sobreponer los resultados del IVC con otra información espacial como capas que representan medidas de defensa costera, densidad de población, índices de urbanización y valores ecológicos y/o de biodiversidad.

Así, los SIG apoyan el análisis integrado que es crucial en la evaluación de la vulnerabilidad costera. En el estudio de la costa, las herramientas SIG son particularmente útiles dada la fina resolución espacial requerida para caracterizar la vulnerabilidad, así como las grandes áreas geográficas que necesitan ser cubiertas. Los SIG modernos permiten que este análisis multi-escala y multi-criterios se lleve a cabo tanto de forma interactiva, con el fin de probar un modelo, como de forma programática, a través de una interfaz de secuencias de comandos (Ramieri et al, 2011).

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO

La zona costera estudiada (Figura 6) se encuentra en la provincia de Cañete, Lima, Perú, y se extiende entre los distritos de Cerro Azul, San Luis y San Vicente de Cañete. La longitud de playa examinada es de aproximadamente 18 km, la cual empieza en la punta Centinela ($13^{\circ}1'49.93''S$ / $76^{\circ}29'23.51''O$) y termina en la playa de Clarita ($13^{\circ}9'5.84''S$ / $76^{\circ}23'6.17''O$).

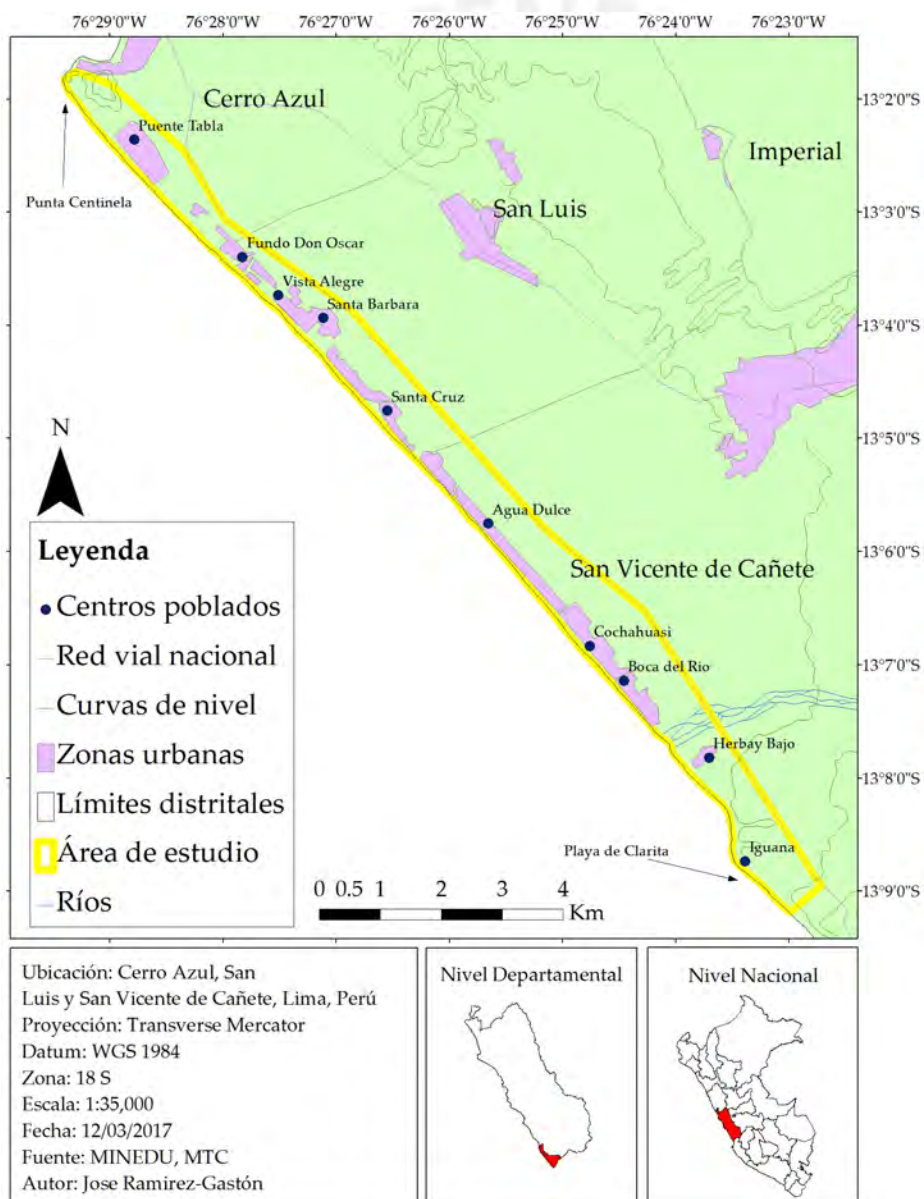


Figura 6: Ubicación del área de estudio (fuente: elaboración propia)

2.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y BIÓTICAS

El área forma parte de la zona central de la gran unidad geomorfológica del litoral y la costa del Perú. La geomorfología (ANA, s.f.) de la zona esta compuesta por llanuras aluviales de valles cultivados, que componen a casi toda el área de estudio; planicies eriazas, que se pueden encontrar saliendo del valle, especialmente al sur; lomadas; colinas; y, al norte, una pequeña zona de humedales costeros. Por otro lado, se han encontrado tres unidades estratigráficas importantes (INGEMMET, s.f.): depósitos fluviales cuaternarios, que componen la gran mayoría de la geología del valle. En el extremo norte del área de estudio, se tiene la presencia del batolito de la costa, concretamente a la super unidad Linga, compuesta por monzodrita y monzogranito, que sobresale en forma de cerro. Sobre ella se ubican restos arqueológicos que llevan el nombre de Fortaleza de Cerro Azul o El Huarco. Al sur, saliendo del valle agrícola, se encuentra la formación Cañete, compuesta por acumulaciones aluviales antiguas pertenecientes al cuaternario pleistocénico. La provincia, se encuentra en una zona sísmica activa con posibilidades de sismos de gran intensidad debido a la cercanía con el choque de las placas de Nazca y Sudamericana. Según la clasificación climática de Koppen-Geigger (Peel et al., 2007), el clima de Cañete es árido cálido, con poca precipitación, temperaturas templadas y dos estaciones marcadas: una de verano y otra de invierno, caracterizada por ligeras lloviznas. La temperatura promedio anual es de 18°C, con variaciones entre los 25°C y 17°C, máximas hasta 30°C en los meses de febrero y marzo, y mínimas de 14°C en los meses de julio y agosto. La precipitación anual es de 20 mm. Los meses de junio a setiembre muestran un mayor régimen pluviométrico, que sin embargo no llega a pasar los límites de sequía. Las zonas de cultivo obtienen agua del río Cañete, el cual tiene un caudal medio mensual histórico de 52.11 m³/s y un aporte volumétrico total anual promedio de 1632.07 x 10⁶ m³ (ANA, s.f.). Además, durante los meses de

verano pueden producirse lluvias en las partes altas de la cuenca que activan quebradas secas y producen huaycos que afectan tanto terrenos eriazos como zonas de cultivo y urbanas (Walsh, 2005).

La zona de estudio también pertenece a la provincia biogeográfica Cálida-Temperada del Sudeste Pacífico, específicamente al sector que va desde Salaverry hasta la isla San Gallán de la zona centro, característica por su nubosidad y la presencia de acantilados y lomas. En el mar peruano se da un sistema de corrientes, superficiales y subsuperficiales que fluyen de sur a norte y de norte a sur respectivamente. Este sistema de corrientes forma parte del movimiento anticiclónico del Pacífico Sur. La corriente más importante que se da frente al área de estudio es la Costera Peruana (Humboldt) que va paralela a la costa y fluye hacia el norte. Tiene características químicas y físicas que favorecen el desarrollo de la pesquería, es de color verdoso, como consecuencia de la gran abundancia de plancton, y su transparencia es menor a 5 m. Ésta corriente permite tener uno de los mares más ricos del mundo (Sustainlabour, s.f.). El agua de mar presenta de manera general características uniformes en sus propiedades físicas y químicas. La salinidad del mar peruano es en promedio de 3.5% y la densidad del agua de mar llega en promedio a valores de 1.025 kg/l. La costa peruana presenta rangos micro-mareales menores a 2 m y la temperatura media anual del agua varía entre los 15°C y 24°C. Como ya se mencionó, suele haber mucha nubosidad en esta parte de la costa debido a la corriente peruana. Las nubes, por otro lado, se presentan en forma de estratos de baja altitud que cubren todo el cielo y su presencia disminuye conforme uno se dirige al norte, donde se da un cambio de corrientes. En nuestras costas predominan los vientos alisios con dirección SE, que se incrementan durante los meses de invierno (Schweiggeger, 1964). La intensidad de los vientos en general es de ligera a moderada y pocas veces excede los 20 km/h (Surf-forecast, 2017). Las olas que llegan a nuestras costas son generadas en aguas

profundas entre las latitudes 35° y 40° Sur. Es en ésta área donde se produce la mayor subsidencia atmosférica y consecuentemente divergencia del viento en superficie. Este tipo de oleaje de mar de fondo es el más característico en el Perú y determina la dinámica de nuestras costas (Walsh, 2007). Además el mar peruano está íntimamente asociado a la dinámica del Pacífico ecuatorial y, por tanto, sujeto a grandes fluctuaciones temporales, en escalas que van de intraestacionales a interanuales. El ciclo El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el modo dominante de variabilidad en el océano Pacífico y sucede cada dos a siete años. ENOS conjuga dos procesos, el oceánico y el atmosférico, y se expresa mediante una fase cálida llamada Fenómeno el Niño (FEN) y una fase fría llamada Fenómeno La Niña (FLN). ENOS influye significativamente en la circulación marina y en los procesos biogeoquímicos. Por ejemplo, produce alteraciones que determinan la disminución del aporte de aguas frías y ricas en nutrientes a la superficie a través del afloramiento costero, proceso que afecta negativamente la pesca en el Perú. También produce eventos de lluvias intensas y sequías en diferentes zonas del país (IMARPE, s.f.).

Según la clasificación de zonas de vida de Holdrige (INRENA, 1995), la zona corresponde al desierto desecado-Premontano Tropical (dd-PT), el cual se extiende desde la costa hasta 1800 msnm. Debido a la aridez del clima, la vegetación natural es muy escasa y está compuesta por tillandsias, distribuidas en las pampas arenosas fuera del valle agrícola, y especies de halófitas, que se pueden encontrar en los humedales al norte del área de estudio.

2.2. POBLACIÓN

En la zona de estudio se encuentran, de norte a sur, los centros poblados de Puente Tabla, que pertenece al distrito de Cerro Azul; Don Oscar, Vista Alegre, Santa Bárbara y Santa Cruz, que se encuentran en San Luis; y Agua Dulce, Cochahuasi-Playa Hermosa, Boca de Río, Herbay Bajo e Iguana, que forman

parte de San Vicente de Cañete. La población total para los años 2012-2013 fue de 4517 personas. Los centros poblados más grandes y que son considerados urbanos son Cochahuasi-Playa Hermosa, con 2005 personas; Santa Bárbara, con 685; Santa Cruz, con 608; y Herbay Bajo, con 594. El resto de centros poblados son considerados rurales. 49.5% de la población está compuesta por hombres y 50.5% por mujeres.

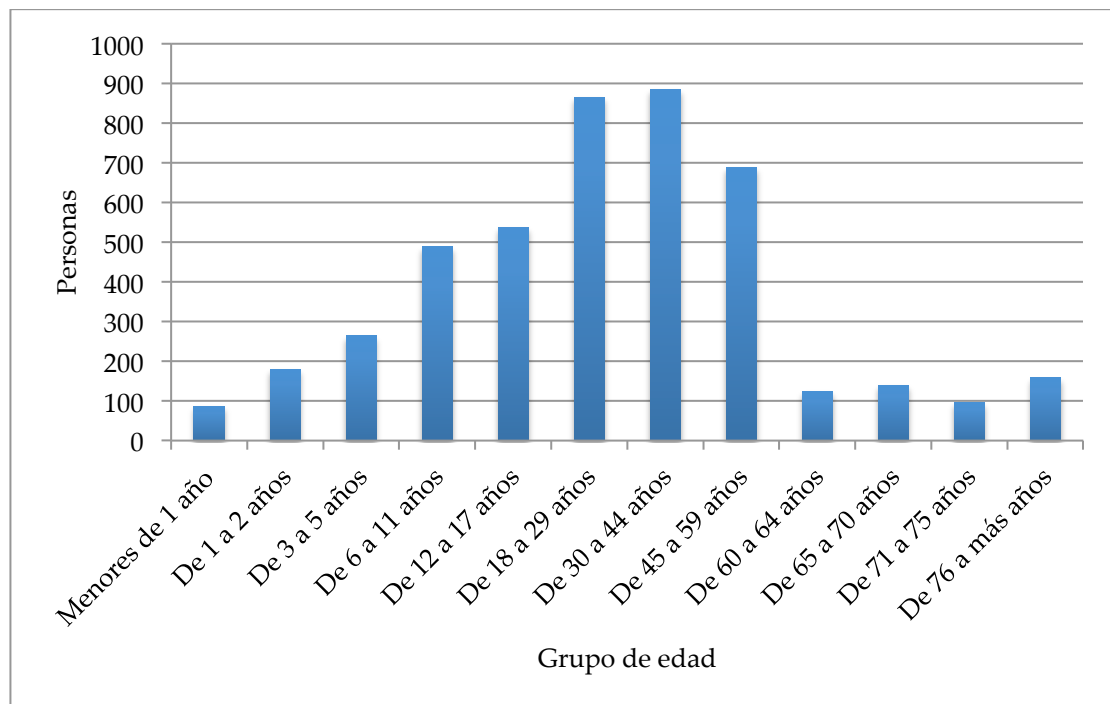


Figura 7: Población del área de estudio por grupos de edad según el INEI (2012, 2013)

La Figura 7 presenta los datos de población por grupos de edad que muestran que 8% de la población tiene de 65 a más años de edad. El grupo de edad con más población es el de 30 a 44 años con 20% seguido por el de 18 a 29 años con 19% y 45 a 59 años con 15% de la población. El 12% de la población tiene entre 12 y 17 años, 11% entre 6 y 11, 6% entre 3 y 5 y el 6% restante de 2 a menos años de edad. Omitiendo a la población de 0 a 2 años, 45% de la población ha logrado terminar la secundaria y 28%, primaria (Figura 8). El 13% de la población cuenta con un grado de educación superior y sólo una persona tiene

un posgrado o grado similar. Sólo 5% de la población ha alcanzado un nivel de educación inicial y 9% no ha alcanzado ningún nivel educativo. Además, 543 personas, que representan el 12% de la población total, no saben leer ni escribir.

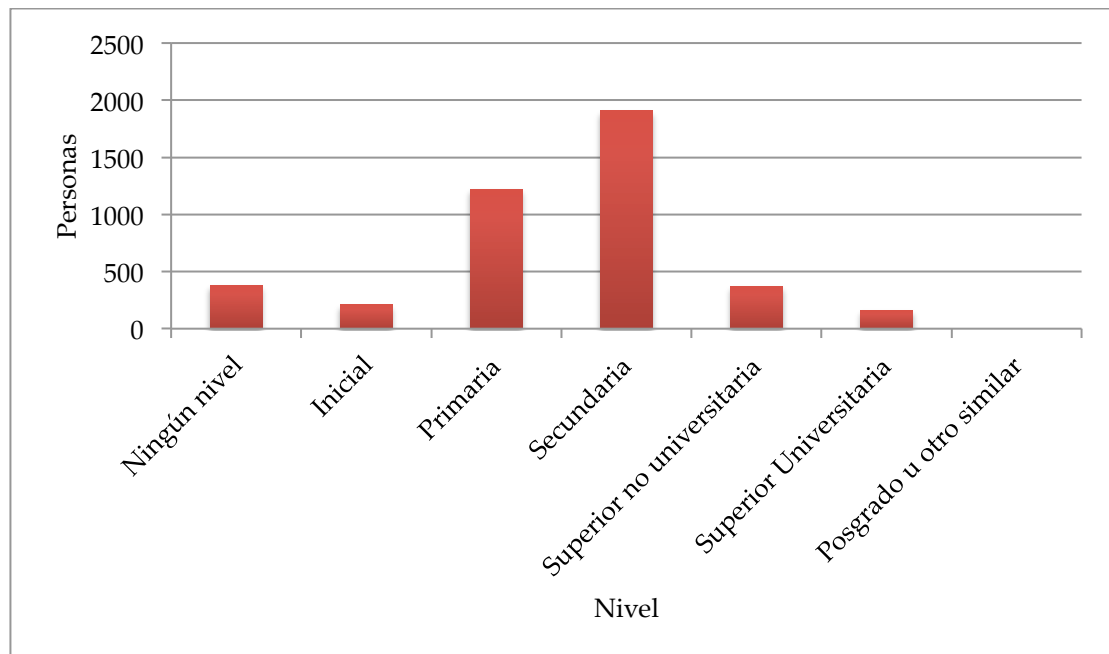


Figura 8: Nivel educativo de la población del área de estudio según el INEI (2012, 2013)

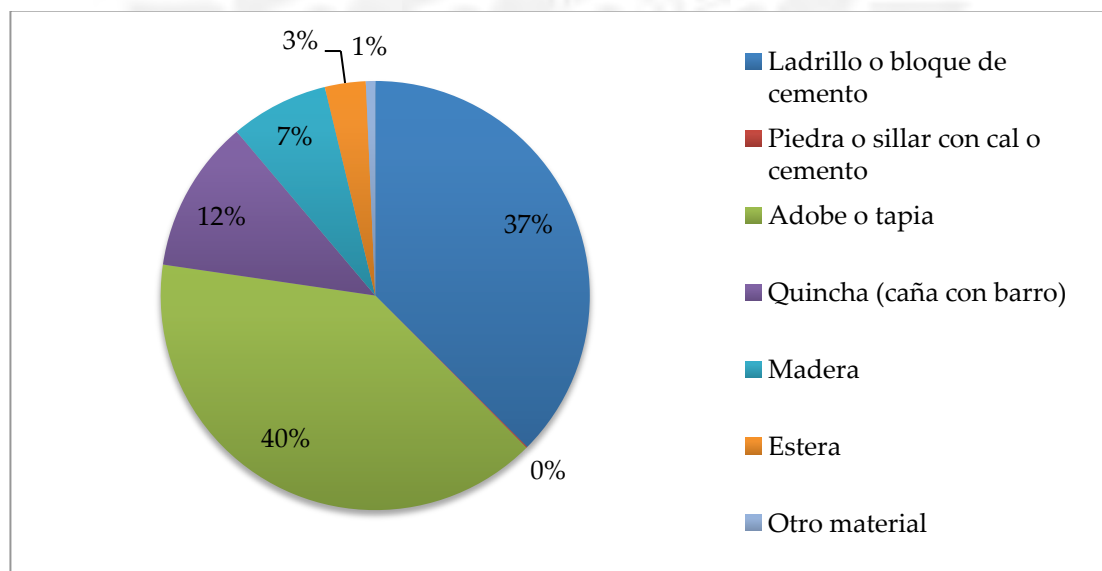


Figura 9: Material predominante en las paredes de las viviendas del área de estudio según el INEI (2012, 2013)

Hay un total de 1137 viviendas de las cuales el 99.3% son casas independientes y el resto son viviendas en quinta, viviendas en casa vecindad o viviendas improvisadas. El 73% de las viviendas son propias y se encuentran totalmente pagadas, 13% han sido cedidas por otro hogar o institución, 6% son alquiladas y el resto tienen otros regímenes de tenencia que pueden ser propias por invasión o propias pagándolas a plazos. Como muestra la Figura 9, el material predominante en las paredes es el adobe (40% de las viviendas) y ladrillo o bloque de cemento (37%). El resto de viviendas están hechas de quincha, madera, estera y otros materiales.

En cuanto al tipo de alumbrado, 87% de las viviendas utiliza electricidad, 10% vela y el resto otros métodos. Por otro lado, 63% de viviendas tiene conexión a la red pública de agua potable, 3% tiene acceso a la red fuera de las viviendas, 30% se abastece de agua con el uso de pozos, y el 4% restante utiliza el río, acequias, manatales y otros tipos de métodos para acceder al agua. La Figura 10 muestra que sólo 31% de viviendas tiene acceso a la red pública de desagüe mientras que 2% puede acceder a la red fuera de la vivienda. Además 33% utiliza pozos negros o letrinas, 17% no tiene acceso a servicios higiénicos, 10% utiliza los ríos, acequias o canales cercanos para desechar sus aguas residuales y 7% utiliza pozos sépticos.

Existen tres centros de Essalud en los tres distritos según INEI (2014). San Vicente de Cañete cuenta con un hospital nivel dos, que es la cabecera de la microrred de la provincia de Cañete. Hay 9 instituciones educativas en la zona de estudio: 3 en el centro poblado de Santa Bárbara, 2 en Cochahuasi-Playa Hermosa y 1 en los poblados de Santa Cruz, Agua Dulce, Boca de Río y Herbay Bajo, respectivamente. En total hay 27 profesores que enseñan a 411 alumnos.

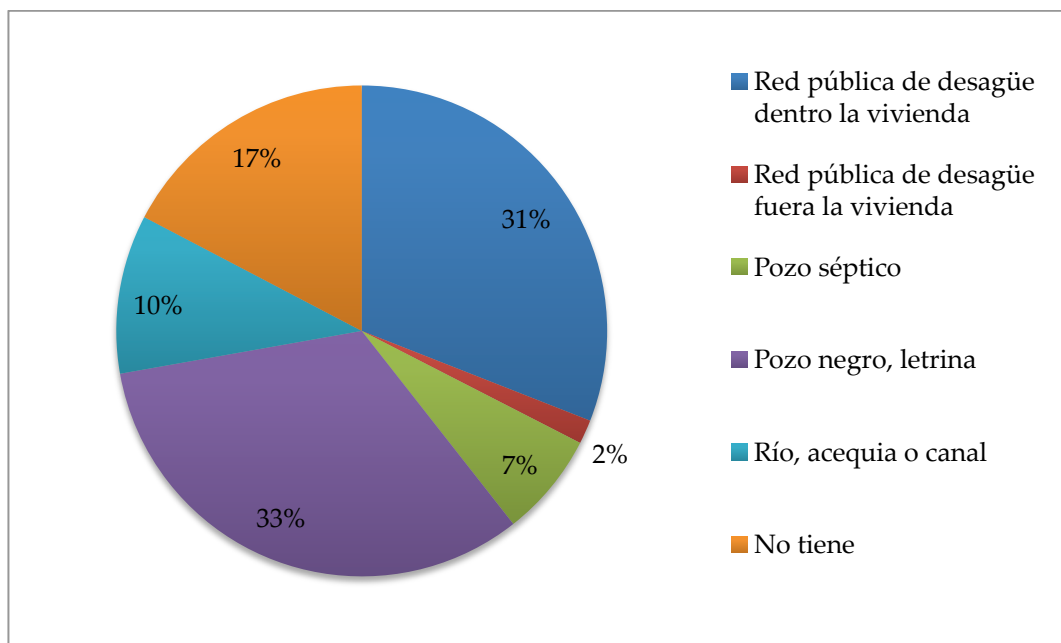


Figura 10: Acceso a servicios higiénicos en el área de estudio según el INEI (2012, 2013)

2.3. ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La población ocupada de 14 años a más es de 1848 personas, que representa un poco más del 40% de la población total. La Figura 11 exhibe que 29% de este grupo son trabajadores independientes, 17% son trabajadores dependientes y menos del 1% son empleadores, trabajadores del hogar o trabajadores familiares no remunerados. Adicionalmente 29% de la población total estudia, 19% está dedicada a los quehaceres del hogar y el 6% restante esta jubilada o sin actividad.

Por último, la Figura 12 indica que 57% de la población ocupada o 1058 personas laboran en el sector agrícola. Además, 21% labora en el sector de servicios. El resto de la población está distribuida casi equitativamente entre los sectores pecuario, pesquero, comercial, Estado y otros, con la excepción del sector minero, artesanal y forestal que juntos no llegan ni al 2% de la población ocupada.

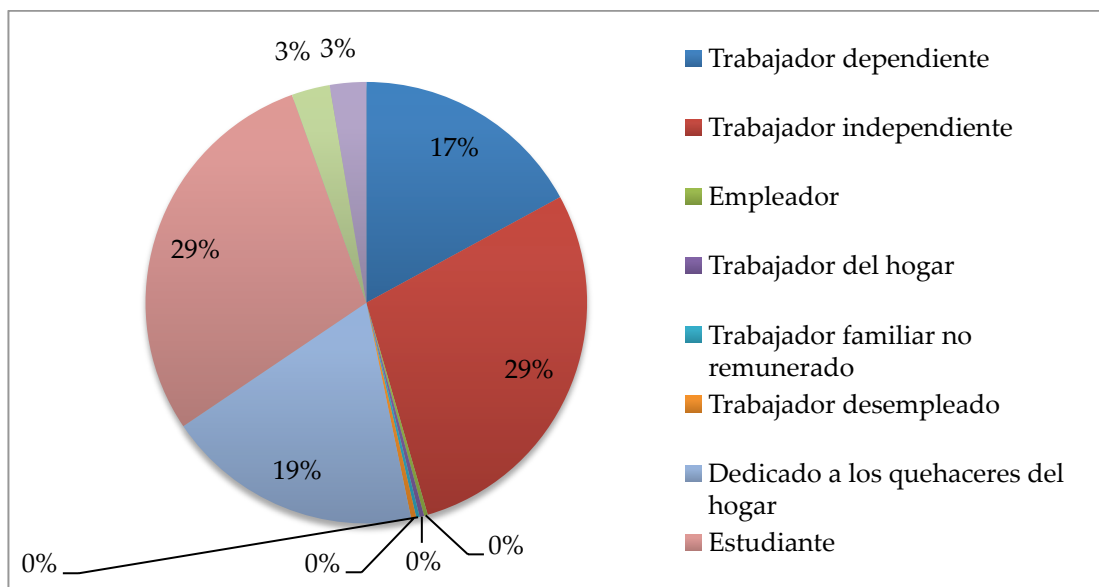


Figura 11: Ocupación en el centro de labor de la población del área de estudio según el INEI (2012, 2013)

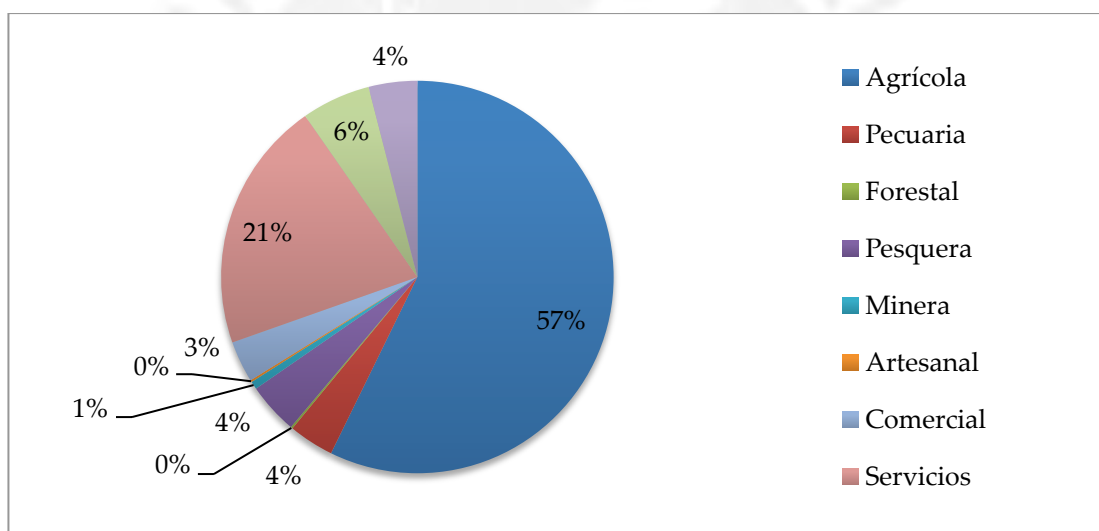


Figura 12: Actividad económica en el centro de labor de la población del área de estudio según el INEI (2012, 2013)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se puede dividir en tres partes: planteamiento del problema y establecimiento de objetivos, recolección de datos, y análisis de resultados y conclusiones. Los pasos se pueden apreciar mejor en la Figura 13. En esta sección se explicará el IVC que será aplicado, la forma como se han obtenido las variables y cómo serán presentadas en los resultados.

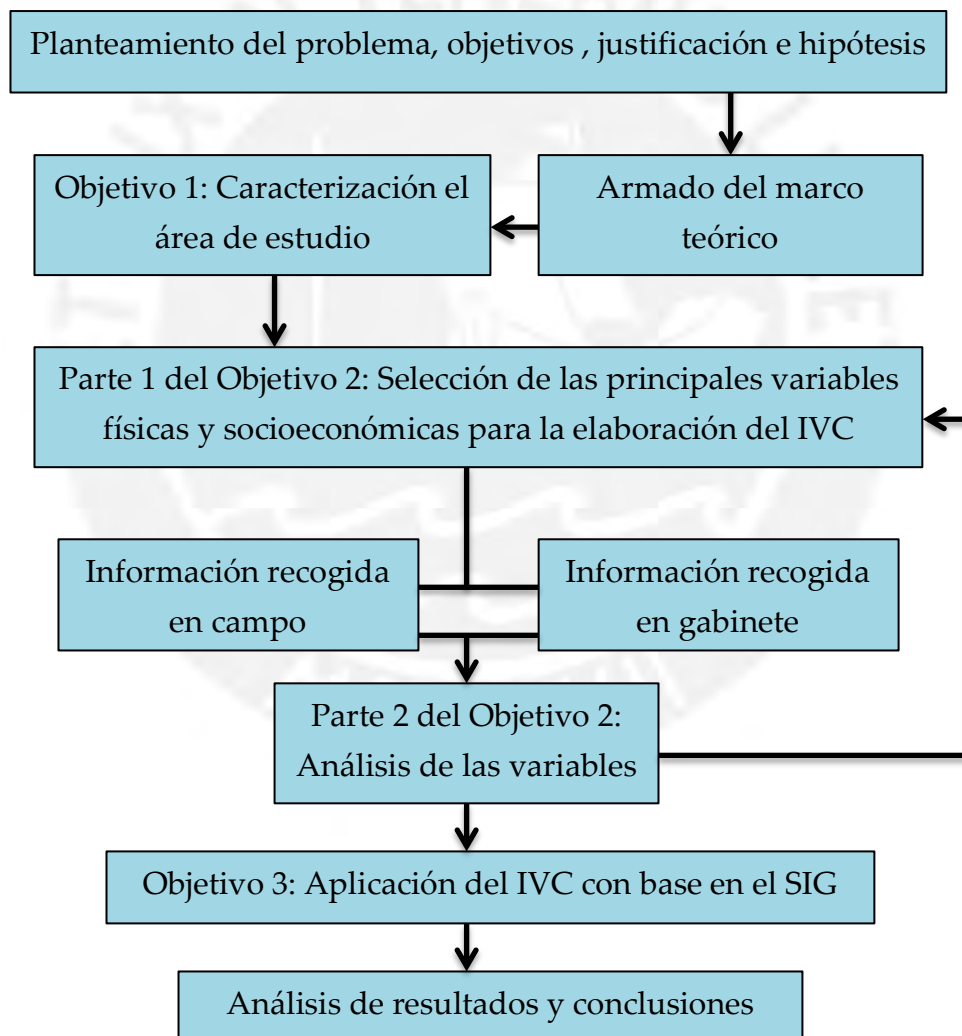


Figura 13: Esquema de la metodología (fuente: elaboración propia)

3.1. ELECCIÓN DE LAS VARIABLES Y DIVISIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO POR SECTORES

Las variables que se consideraron para este trabajo fueron elegidas a partir de la caracterización del área de estudio, fuentes bibliográficas y levantamiento de datos en campo. Se tomó como referencia el modelo de IVC planteado por Gornitz (1990; 1991) y modificado por el USGS para determinar la cantidad de variables que se iban a utilizar. A diferencia de esos estudios, se decidió incluir variables socioeconómicas que enriquecieran aún más el análisis. En total se eligieron 4 variables físicas que fueron pendiente de playa, altura promedio de olas, geomorfología y tasa de cambio de línea de costa; y 2 socioeconómicas que fueron densidad poblacional y uso de suelo. Para determinar la exposición de la playa a la acción de las olas se eligió analizar las variables de pendiente de playa y altura promedio de olas. Estas variables se consiguieron con la elaboración de los perfiles de playa. Se decidió hacer 3 perfiles y su ubicación se determinó a partir de la geomorfología observada en imágenes satelitales. Se buscó colocar 2 en el primer tramo de playa que va desde el extremo norte del área de estudio hasta la desembocadura del río Cañete y uno en el segundo tramo que va desde la desembocadura hasta el extremo sur de la zona de estudio. Debido a la variedad de geformas que se pudo observar durante la salida de campo, se consideró la variable de geomorfología, que además ayudó a caracterizar aún más la exposición de la costa frente a las dinámicas del mar. Para determinar la existencia de erosión en el área de estudio se analizó la tasa de cambio de la línea de costa en los últimos 55 años. Por último las variables socioeconómicas de densidad poblacional y uso de suelo permitieron identificar 2 datos poblacionales importantes que son la cantidad de personas que viven en la zona y las actividades que se realizan en ella. La viabilidad de su uso se verificó con las fuentes de datos que se pudieron encontrar en la

página del INEI e imágenes satelitales disponibles en el programa Google Earth.

El área de estudio se dividió en 3 sectores (Figura 14). Los primeros dos forman parte de la misma playa que va desde el extremo norte del área de estudio hasta la desembocadura del río Cañete y su división fue determinada por la geomorfología encontrada en la salida de campo. El límite entre los dos sectores coincide con el cambio de sedimentos entre arena, que cubre la mayor parte de esa extensión de la costa, y canto rodado. Para el tercer sector se consideró la división natural que produce la desembocadura del río por el norte y por el sur el límite fue marcado por el final del área cultivada del valle.

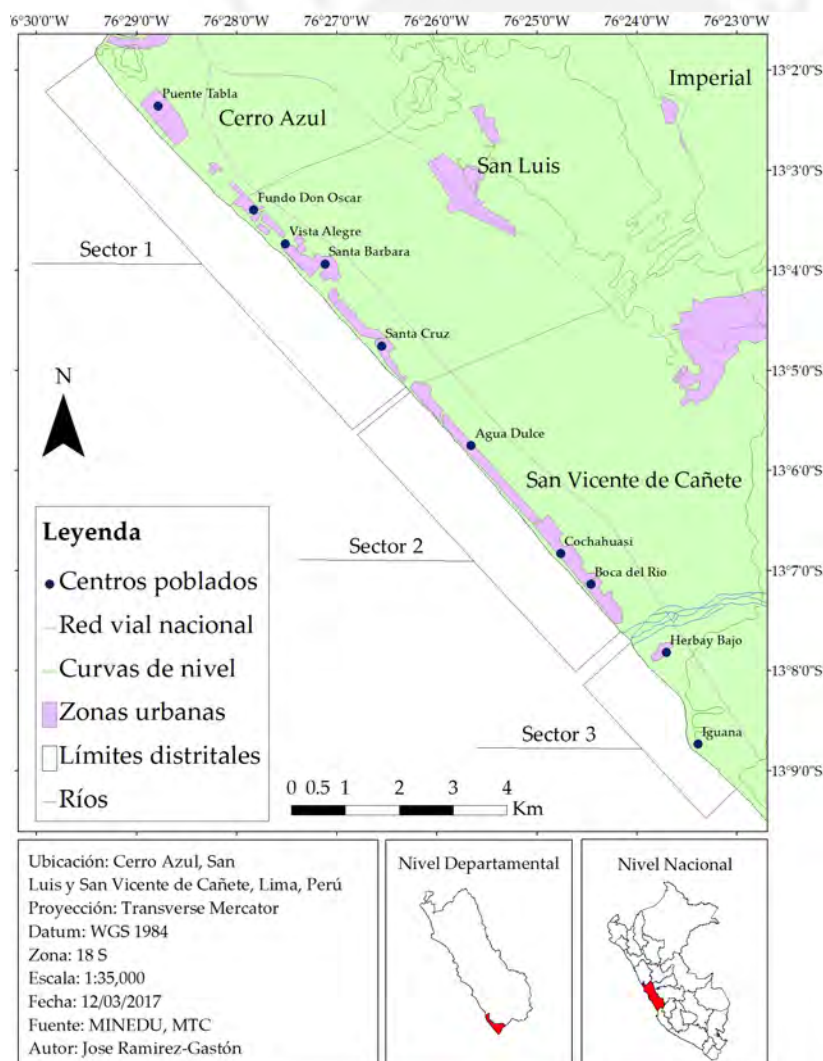


Figura 14: Sectores del área de estudio (fuente: elaboración propia)

El primer sector tiene aproximadamente 8.4 km de longitud y empieza en el extremo norte de la zona de estudio ($13^{\circ}1'49.93''S$ / $76^{\circ}29'23.51''O$) y termina en límite entre los centros poblados de Santa Cruz y Agua Dulce ($13^{\circ}5'08.21''S$ / $76^{\circ}26'20.44''O$). El segundo tiene aproximadamente 5.8 km y va desde el último punto que se ha mencionado hasta el margen derecho de la desembocadura del río Cañete ($13^{\circ}7'38.47''S$ / $76^{\circ}24'13.96''O$). El tercero es de aproximadamente 2.9 km y abarca desde el margen izquierdo de la desembocadura del río ($13^{\circ}7'50.92''S$ / $76^{\circ}24'2.75''O$) hasta el extremo sur del área de estudio ($13^{\circ}9'5.84''S$ / $76^{\circ}23'6.17''O$). Para las variables poblacionales se consideraron áreas de superficie que se crearon trazando una línea paralela a la costa (los criterios son descritos más adelante) para crear un espacio de un determinado ancho que sirvió como plataforma para evaluar las variables.

3.2. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA

Como ya se mencionó, en este estudio se utilizó el IVC de la ecuación [2] adaptado a las variables que fueron seleccionadas. Se tomó esta decisión por lo simple y efectivo que resulta para cuantificar las distintas variables y relacionarlas para obtener un solo nivel de vulnerabilidad costera. Este índice consiste en darle un valor a cada variable según la siguiente escala de vulnerabilidad: 1 – baja, 2 – moderada, 3 – alta, 4 – muy alta. Luego se multiplican los valores que se le dieron a las variables y el resultado se divide por el número total de variables. Se calcula la raíz cuadrada de esa operación y el resultado es comparado con un rango de valores previamente establecido que nos da el nivel de vulnerabilidad de la costa. Este rango tiene como mínimo el valor más bajo de vulnerabilidad que se podría haber obtenido en el caso de que todas las variables valiesen 1. El máximo valor es aquel que hubiera resultado en el caso de que todas las variables valiesen 4. El rango se divide en 4 partes que serán los valores de vulnerabilidad y tendrán la misma escala que

la usada para valorizar las variables, es decir de baja a muy alta. Las variables utilizadas se ordenan de la siguiente forma en el índice:

$$\sqrt{\frac{a.b.c.d.e.f}{6}} \quad [2]$$

a: pendiente de la playa

b: altura promedio de las olas

c: geomorfología

d: tasa de cambio de línea de costa

e: densidad poblacional

f: uso de suelo

3.2.1. VARIABLES FÍSICAS

Las variables físicas permiten evaluar lo expuesta al peligro que está la población de la zona de estudio. Para obtener las variables se utilizaron herramientas de medición, además de fotos aéreas y satelitales que fueron procesadas en gabinete. A continuación se explicará cómo se analizaron las variables físicas que fueron seleccionadas para este estudio.

3.2.1.1. PENDIENTE DE LA PLAYA

La pendiente se obtiene con la elaboración del perfil de playa. Los perfiles se realizaron en dos días. El 05/09/15 se hicieron los perfiles 1 y 2 y el 06/09/15, el perfil 3. Las mareas para estos días fueron las siguientes: para el sábado 5 hubo dos bajamares a las 5:59am y 5:49pm de 0.3m y 0.11m respectivamente y una pleamar a las 11:26am de 0.58m. Para el domingo 6 hubo dos bajamares a las 7:32am y 6:58pm de 0.31m y 0.14m respectivamente, y dos pleamares a la 1:01am y 12:54pm de 0.76m y 0.54m respectivamente (DHN, 2015).

Para realizar los perfiles se utilizó el método de Emery (1961), para el cual se necesitan dos varas de 1.5 m con escalas en cm y se deben seguir los pasos a continuación (Rondón, 2011). Primero se establece el punto de partida. Se debe localizar un punto de referencia en el terreno (de preferencia una edificación o vegetación madura que se mantendrá estable durante la elaboración del perfil y también a futuro si es que alguien desea revisar el trabajo). Este punto servirá de guía para realizar el perfil de manera perpendicular a la línea de costa. Además, se deben apuntar las coordenadas del punto de partida, día, fecha, hora y otros datos que parezcan pertinentes. Segundo, la variación topográfica del terreno se determinará a partir de la diferencia de nivel entre las dos varillas. Cada vara deberá ser operada por una persona. La primera vara se ubica en el punto inicial. La segunda se ubica a una distancia de 1.5 m de la primera. La distancia horizontal se mide con la vara que va adelante y la variación vertical se mide a través de la vara que se encuentre más elevada. En esta posición, el operador tiene por delante de su visión ambas varas y la línea del horizonte que servirá como referencia. La parte superior de la vara más elevada deberá ser colocada a la altura de la línea del horizonte y se medirá cuantos cm de variación hay entre ese punto y la parte superior de la vara más baja. Terminada la lectura, se apuntará el resultado y se pasará a hacer la siguiente lectura, para lo cual se pasará la primera vara (la que está más cerca al operador) por delante de la segunda y se volverá a medir la distancia horizontal y vertical. La vara más elevada es la que determinará la variación vertical siempre, independientemente de si se encuentra adelante o atrás. Se deberá apuntar la hora del último punto, el cual se hará una vez que se alcance la línea del mar. Tercero, se debe identificar el límite entre la arena seca y mojada ya que se usará la distancia entre este punto y el último para encontrar la pendiente. Para hallar la pendiente se determina la variación vertical entre el punto donde empieza la arena mojada y la línea del mar, y la variación horizontal entre esos dos puntos. Luego se calcula el arcoseno de la variación

vertical entre la horizontal y se obtiene el ángulo de la pendiente. Se halla el porcentaje multiplicando el ángulo por 100 entre 90 (valor máximo de la pendiente). Se usará la siguiente escala para valorar la pendiente: Baja (1): >75%, moderada (2): 50 – 75%, alta (3): 25 – 50%, muy alta (4): <25%.

3.2.1.2. ALTURA PROMEDIO DE LAS OLAS

Para hallar la altura promedio de las olas se debe contar 10 olas consecutivas. Se establece un punto imaginario en el mar, que normalmente es la zona de rompiente, y con la ayuda de una persona que sujeta una vara con medidas se debe calcular con la vista la altura de cada ola que pasa. Luego se hace un promedio de la altura de las olas que han sido observadas. La cifra que se obtiene es el promedio en metros del oleaje de la zona de estudio. Los valores de vulnerabilidad fueron establecidos utilizando como referencia las escalas planteadas por la USGS (s.f.) y Abuodha, P. y Woodroffe, C. (2010): Baja (1): <0.5m, moderada (2): 0.5m – 1m, alta (3): 1m – 1.25m, muy alta (4): >1.25m.

3.2.1.3. GEOMORFOLOGÍA

Esta variable muestra las formas del relieve de la costa y su relativa resistencia a la erosión. Los resultados se obtienen observando el área de estudio in situ y se comparan con rangos de vulnerabilidad establecidos por Dwarakish et al. (2009). El valor de 1 representa la menor vulnerabilidad a la erosión costera (costas de acantilados rocosos) y 4 la mayor vulnerabilidad (playas de arena y marismas). La clasificación completa se puede ver en la Tabla 2. Para elaborar el mapa geomorfológico se digitalizaron las formas observadas en forma de líneas sobre la costa con GoogleEarth y luego fueron convertidas a shapefile para ser colocadas sobre el mapa base del área de estudio.

3.2.1.4. TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA

Para identificar la tasa de cambio de la línea de costa se necesitan dos líneas de costa con una diferencia temporal significativa que permita identificar cambios producto de la sedimentación o erosión. En el caso de este estudio, para la línea de costa más antigua se consiguió fotos aéreas en el Instituto Geográfico Nacional, que fueron tomadas el 2 de noviembre de 1961. Estas fotos fueron digitalizadas en el programa ArcMap (software ArcGIS de ESRI). Para la línea de costa más reciente se utilizó el programa GoogleEarth donde se encontraron imágenes de buena calidad del satélite CNES/Astrium que fueron tomadas el 21 de noviembre de 2016.

La digitalización de las líneas de costa y su análisis siguió el procedimiento que se obtuvo de los estudios de Rondon (2011) y Aguilar (2015). El primer paso consiste en el procesamiento de las fotos aéreas seleccionadas en el programa ArcMap e inicia con la georeferenciación de las fotos a través del ingreso de un mínimo de 30 puntos de coordenadas sobre cada imagen (los puntos deben corresponder a estructuras que no hayan cambiado entre el año 1961 y la imagen satelital del año 2016 en GoogleEarth). A mayor número de puntos, mayor será la precisión de la georeferenciación. Se debe procurar obtener un margen de error (Total RMS Error) por debajo de 0.003 para que la rectificación sea aceptable. Una vez que se termina con el ingreso de puntos se rectifica la imagen. Luego se debe ortorectificar las fotografías aéreas. La ortorección tiene el objetivo de corregir la distorsión que puedan tener las imágenes para que las mediciones posteriores se lleven a cabo con mayor precisión.

El siguiente paso consiste en digitalizar la línea de costa. El límite entre la arena húmeda y seca se utiliza como criterio de referencia para dibujar la línea de costa. Ésta se dibuja como un nuevo shapefile. En el caso de la imagen satelital

del año 2016, la digitalización de la línea de costa se hizo creando una línea en formato KML en Google Earth que luego fue convertida a formato shape.

Con estos insumos base se llevó a cabo el análisis a través del software “Digital Shoreline Analysis System” (DSAS) (Thieler et al., 2009), el cual permite hacer una comparación entre las diferentes líneas de costa. Adicionalmente se debe crear una línea base paralela a la costa que permitirá comparar las dos líneas seleccionadas e identificar las variaciones que se han dado. Los resultados serán divididos entre los sectores que ya se han establecido. Los valores de variación obtenidos serán comparados con la escala de vulnerabilidad siguiente: Baja (1): $>2m$, moderada (2): $2m - 0m$, alta (3): $0m - -2m$, muy alta (4): $<-2m$ (Ojeda et al., 2009). Los valores negativos indican zonas en donde hay erosión y los positivos, zonas de acumulación de sedimentos.

3.2.2. VARIABLES SOCIOECONÓMICAS

Las variables socioeconómicas permiten medir la cantidad de personas que habitan en el área de estudio y lo expuestas que se encuentran ante los peligros de la zona costera. A continuación se explicará cómo se obtuvo las variables socioeconómicas seleccionadas para el IVC.

3.2.2.1. DENSIDAD POBLACIONAL

Con los sectores de playa establecidos, se obtuvo información de INEI (2012, 2013) a nivel de centros poblados con lo cual se halló el número de personas por cada sector. Debido a que los centros poblados del área de estudio se han establecido entre la línea de costa y la carretera Panamericana, y debido a que esta última va casi de forma paralela a la primera, estos límites definieron el área de influencia para esta variable. Luego se obtuvo la densidad poblacional (habitantes por km^2) de cada sector. A esa cifra se le ha dado un valor de vulnerabilidad según la escala (de menor a mayor): 1: <250 personas/ km^2 , 2:

250-500 personas/km², 3: 500-1000 personas/km² y 4: >1000 personas/km² (Torresan et al. 2008).

3.2.2.2. USO DE SUELO

Esta variable muestra los usos que se le han dado al suelo en un sector determinado y se identifica mediante la observación del área de estudio durante la salida de campo y con fotos satelitales. Los límites del ancho de los sectores para esta sección serán los mismos que se han ordenado en el reglamento de la Ley 26856, la cual establece una franja para uso público de 50 metros de ancho paralela a la línea de marea alta y una franja de 200 metros de dominio restringido, ubicada a continuación de la primera franja de 50 metros paralela a la línea de marea alta. Una costa vacía obtendrá un valor de vulnerabilidad bajo mientras que una costa que presente equipamiento e infraestructura prioritaria para la sociedad obtendrá un valor de vulnerabilidad muy alto (McLaughlin et al., 2002). Para elaborar el mapa del uso de suelo se digitalizaron los usos en formas de polígonos en GoogleEarth y luego fueron convertidos a shapefile para ser colocados sobre el mapa base del área de estudio.

3.2.3. COMBINACIÓN DE LAS VARIABLES DEL IVC

Las variables han sido integradas en la Tabla 2 para una mejor visualización:

Tabla 2: Variables del IVC

Variable	Vulnerabilidad			
	Baja (1)	Moderada (2)	Alta (3)	Muy Alta (4)
Pendiente de la playa	>75%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
Altura promedio de las olas	<0.5m	0.5m - 1m	1m - 1.25m	>1.25m
Geomorfología	Acantilado alto de roca dura	Acantilados medianos y bajos, costa irregular	Playa de canto rodado, estuario, laguna	Barra costera, playa de arena, marisma, delta, manglar
Tasa de cambio de la línea de costa	>2m	2m - 0m	0m - -2m	<-2m
Densidad poblacional	<250 personas/km ²	250-500 personas/km ²	500-1000 personas/km ²	>1000 personas/km ²
Uso de suelo	Roca al desnudo	Área costera (playas, manglares, delta, etc.)	Agricultura	Infraestructura urbana e industrial. Herencia cultural

Fuente: elaboración propia

Luego de aplicar la fórmula del IVC se obtuvo un valor final de vulnerabilidad para cada sector del área de estudio que fue comparado con el siguiente rango:

- 0.408 – 6.838: Baja
- 6.839 – 13.269: Moderada
- 13.270 – 19.700: Alta
- 19.701 – 26.130: Muy Alta

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

A continuación se presentarán los resultados obtenidos en el gabinete y en la salida de campo que se realizó los días sábado 5 y domingo 6 de septiembre de 2015. La sección está dividida en 7 partes. Las primeras 6 corresponden a las variables del IVC y el orden en el que serán presentadas corresponderá con el orden en el que aparecieron en la metodología. Al final se mostrarán los resultados del IVC por sectores.

4.1. PENDIENTE DE PLAYA

En la Figura 15 se muestra el perfil 1, ubicado en el sector 1 (Figura 16), que fue tomado a las 4:30pm del 05/09/15. Se caracterizó por la presencia de sedimentos de arena y un horizonte poco pronunciado. La pendiente fue de 3.7%.

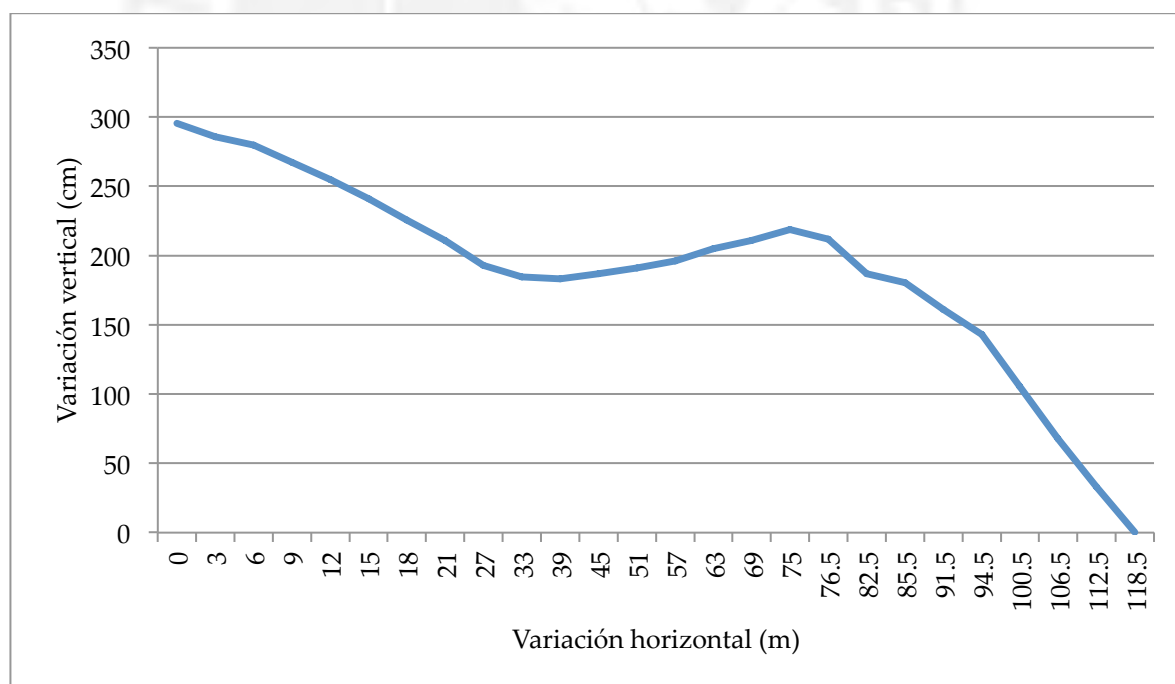


Figura 15: Perfil de playa 1 (fuente: elaboración propia)

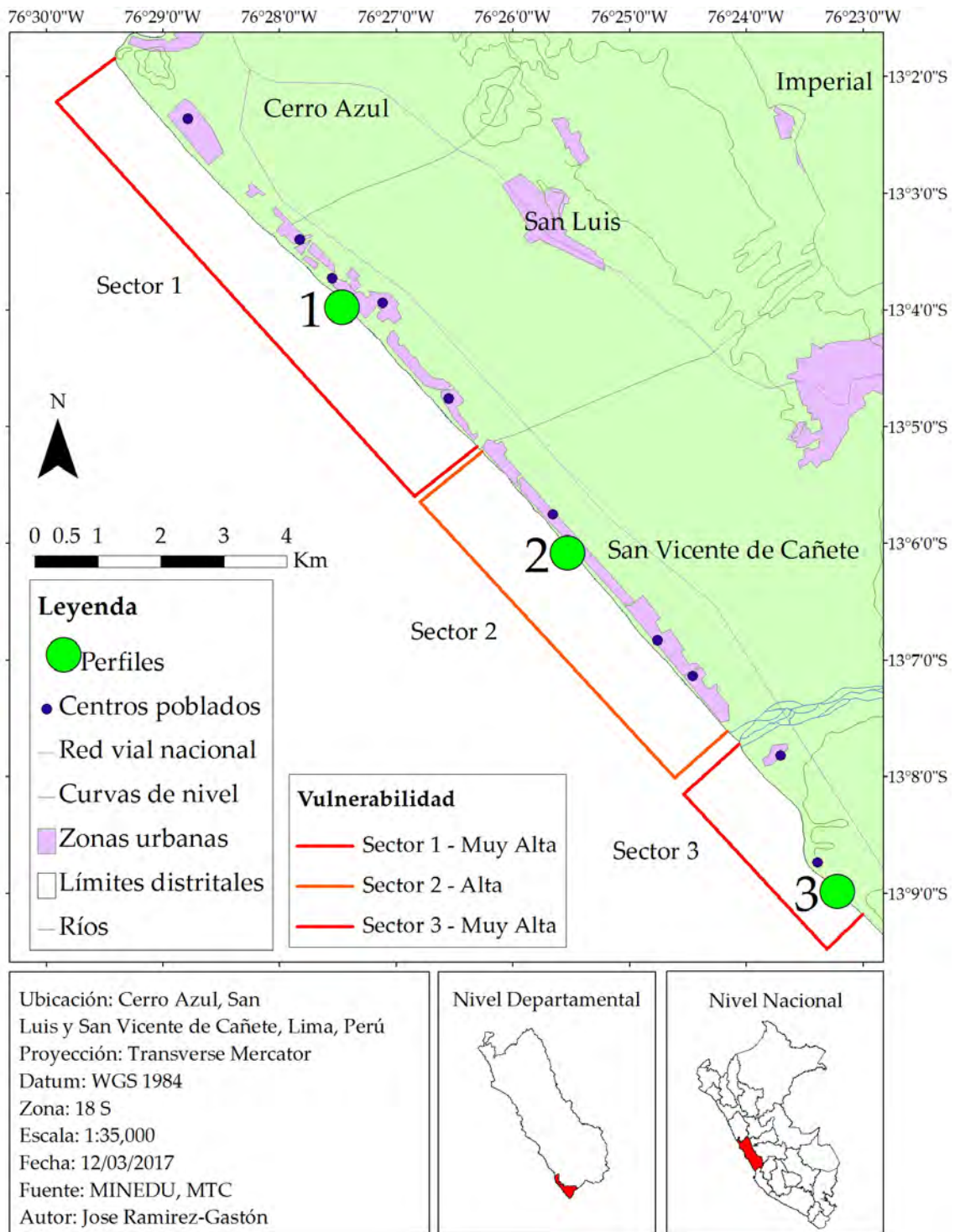


Figura 16: Ubicación de los perfiles de playa (fuente: elaboración propia)

En la Figura 17 se muestra el perfil 2, ubicado en el sector 2 (Figura 16), que se tomó a las 6:00pm del 05/09/15. Se caracterizó por la presencia de sedimentos de canto rodado, una playa menos ancha que en el perfil anterior y una gran berma. La pendiente fue de 26.4%

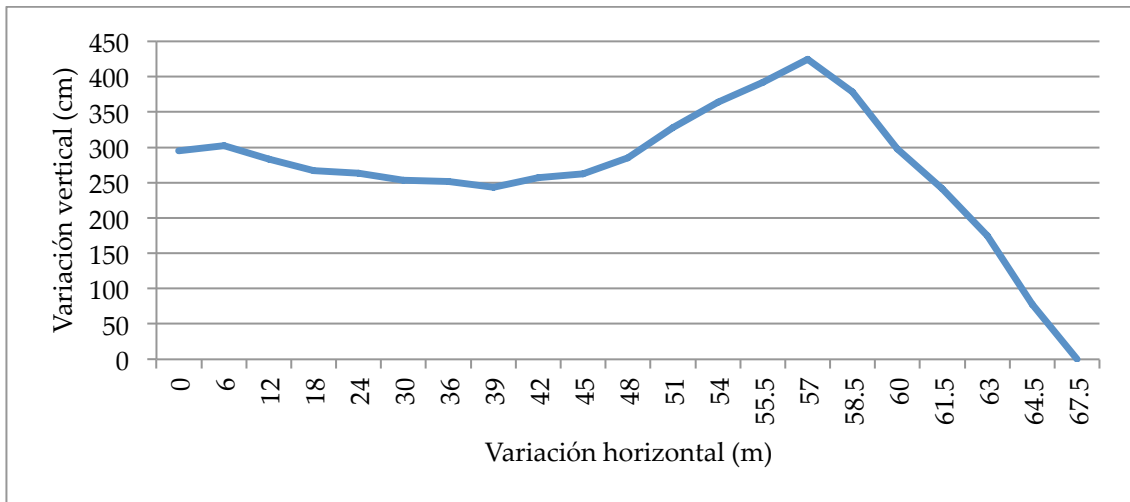


Figura 17: Perfil de playa 2 (fuente: elaboración propia)

En la Figura 18 se muestra el perfil 3, ubicado en el sector 3 (Figura 16), que fue tomado a las 4:00pm del 06/09/15. Se caracterizó por la presencia de sedimentos de canto rodado y una playa de un ancho menor a los dos perfiles anteriores. La pendiente fue de 8.8%.

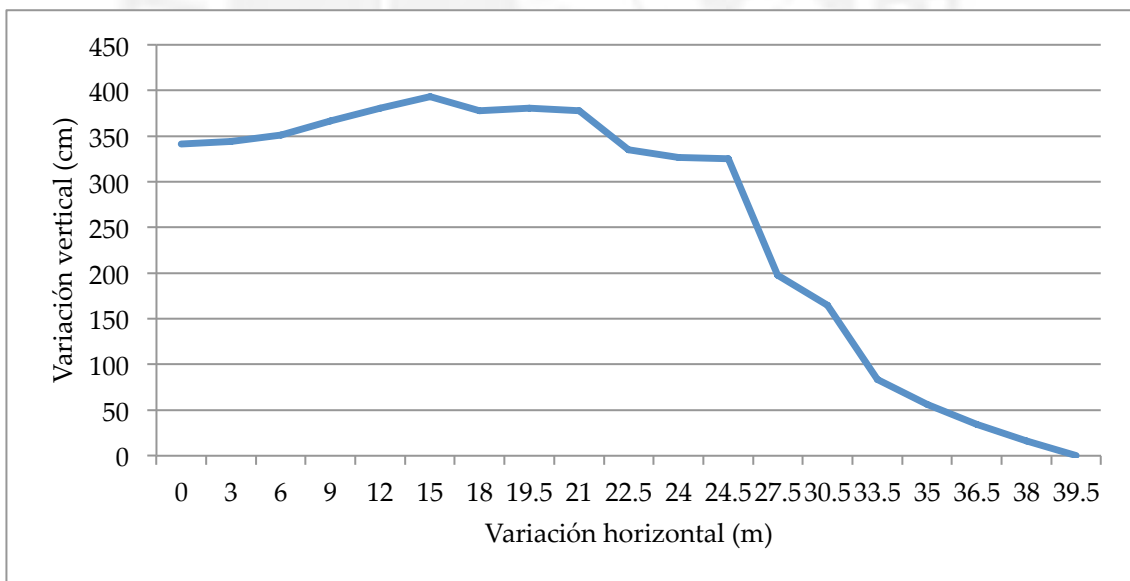


Figura 18: Perfil de playa 3 (fuente: elaboración propia)

4.2. ALTURA PROMEDIO DE LAS OLAS

Los resultados obtenidos durante el levantamiento de los perfiles mostraron que en el perfil 1, que pertenece al sector 1 (Figura 19), el oleaje rompía alejado

de la playa en derrame y se acercaba en forma de espuma hasta llegar a la orilla. La altura promedio de las olas fue de 1 m. En el perfil 2, ubicado en el sector 2 (Figura 19), se pudo ver que las olas reventaban lejos de la costa en derrame y cuando llegaban a la orilla se reformaban en rompientes de colapso. La altura promedio de las olas fue de 1 m. En el perfil 3, ubicado en el sector 3 (Figura 19), las olas reventaban en derrame lejos de la orilla y luego se reformaban en rompientes de colapso en la playa. La altura promedio de las olas fue de 0.25 m. La clasificación de vulnerabilidad por sectores para esta variable se puede ver en la Figura 19.

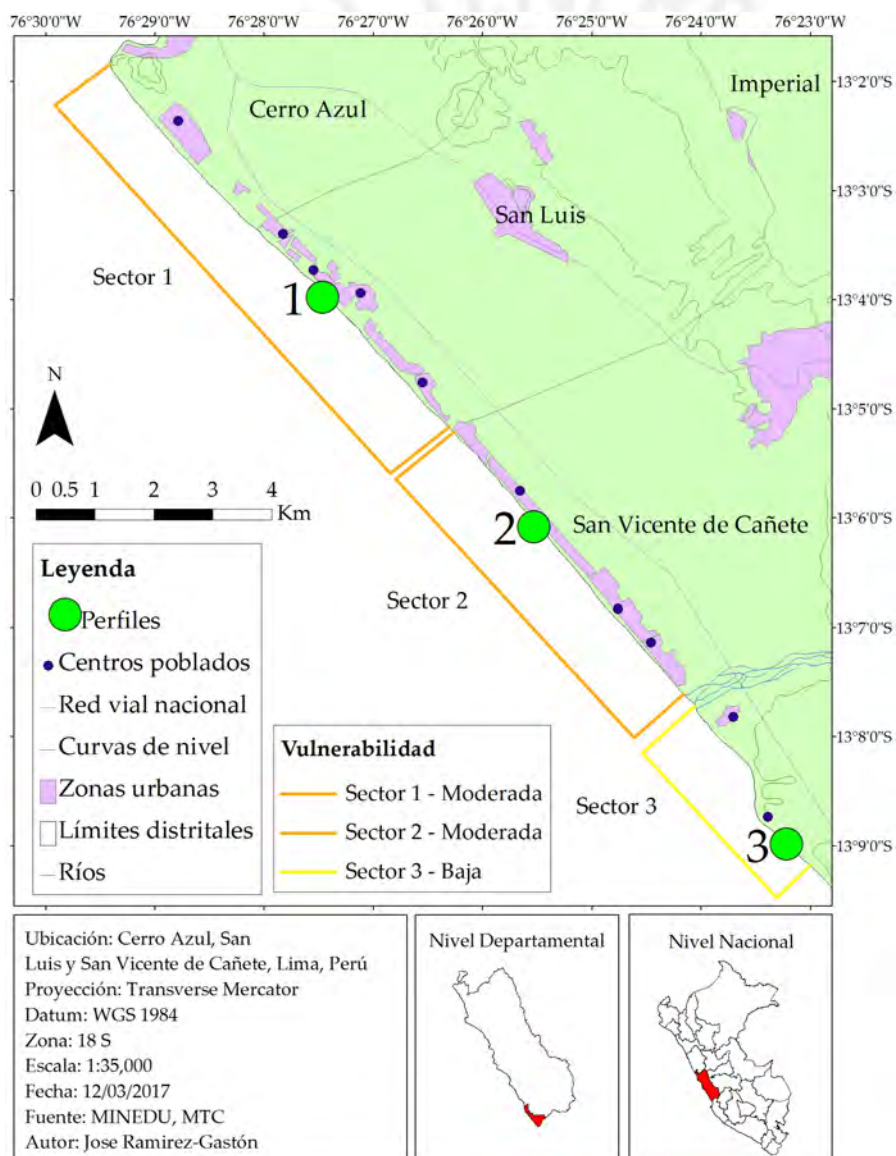


Figura 19: Tamaño promedio de las olas (fuente: elaboración propia)

4.3. GEOMORFOLOGÍA

En la zona de estudio hay tres unidades geomorfológicas importantes (INGEMMET, s.f.): En el extremo norte del área de estudio se tiene la presencia del batolito de la costa en forma de un acantilado rocoso vivo (que se encuentra en contacto con el mar) y de pequeñas colinas que están cubiertas por depósitos eólicos, que se encuentran atrás de la playa próxima al acantilado y sobre las que se ubica la Fortaleza de Cerro Azul. Los sedimentos de la playa en esta zona están compuestos por canto rodado. Esta unidad aparece como una línea de color rosado en la Figura 20. Luego, se presenta una llanura aluvial que conforma la mayor parte del área de estudio. Esta llanura empieza desde el final de la zona de acantilados y colinas ya descrita y termina un poco más al sur de la desembocadura del río Cañete. Esta formación se caracteriza por ser plana y la playa está conformada por dos tipos de sedimentos: arena y canto rodado. La arena se encuentra en el centro de esta unidad y conforme uno se dirige a los extremos sucede una transición hacia canto rodado. Los sedimentos de mayor tamaño que se encontraron estaban más próximos a la desembocadura del río. Las partes de la costa donde los sedimentos están compuestos de canto rodado son representadas por una línea azul en la Figura 20. La línea de color turquesa representa la zona de sedimentos arenosos y la línea marrón representa las zonas de transición entre ambos tipos de sedimentos. Al sur, saliendo del valle agrícola, se encuentra la formación Cañete, compuesta por material aluvial antiguo, la cual ha estado sujeta a procesos de erosión que han formado acantilados de una altura de 20 metros que actualmente se encuentran muertos (sin contacto con el mar). Las playas en esta zona estaban compuestas de canto rodado de mayor tamaño que al norte de la desembocadura del río y se pudo apreciar que el material que formaba el fondo del mar estaba compuesto de rocas grandes y redondas de 0.5 a 1 m de circunferencia aproximadamente. Esta unidad es representada

por una línea verde en la Figura 20. El sector 1 está compuesto en su mayoría por playas de arena (5.7km o 67.9%), el 69% del sector 2 está compuesto por playas de canto rodado, y el tercer sector está compuesto en su totalidad por los acantilados de la formación Cañete.

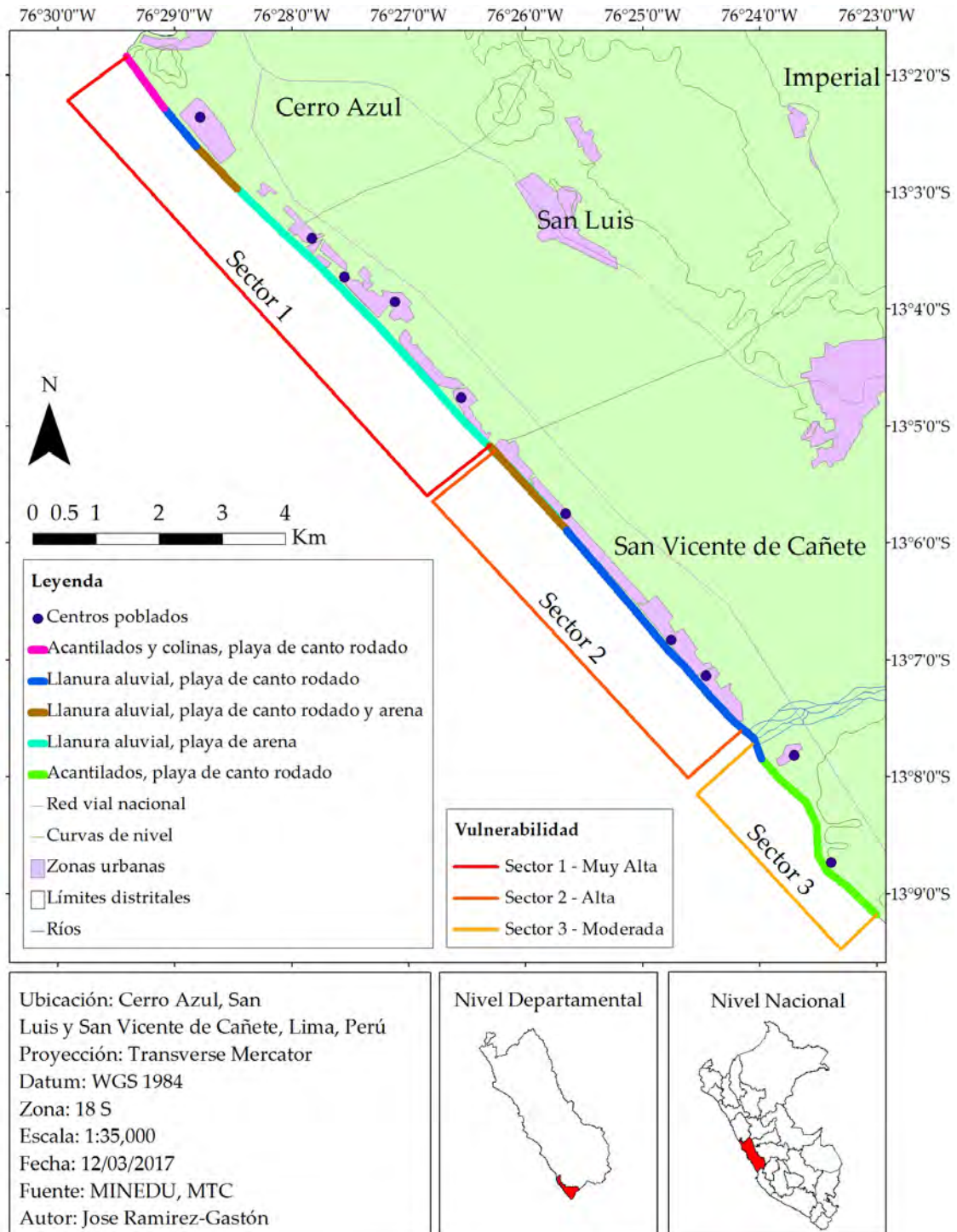


Figura 20: Geomorfología del área de estudio (fuente: elaboración propia)

4.4. TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA

Los resultados de esta sección se obtuvieron analizando los cambios entre las líneas de costa de noviembre de 1961 y noviembre de 2016. El área de estudio fue dividida en 354 transectos de 50 metros (empezando por el extremo norte) y la tasa de cambio se calculó dividiendo la distancia entre las 2 líneas entre el tiempo que había pasado entre ambas (55 años).

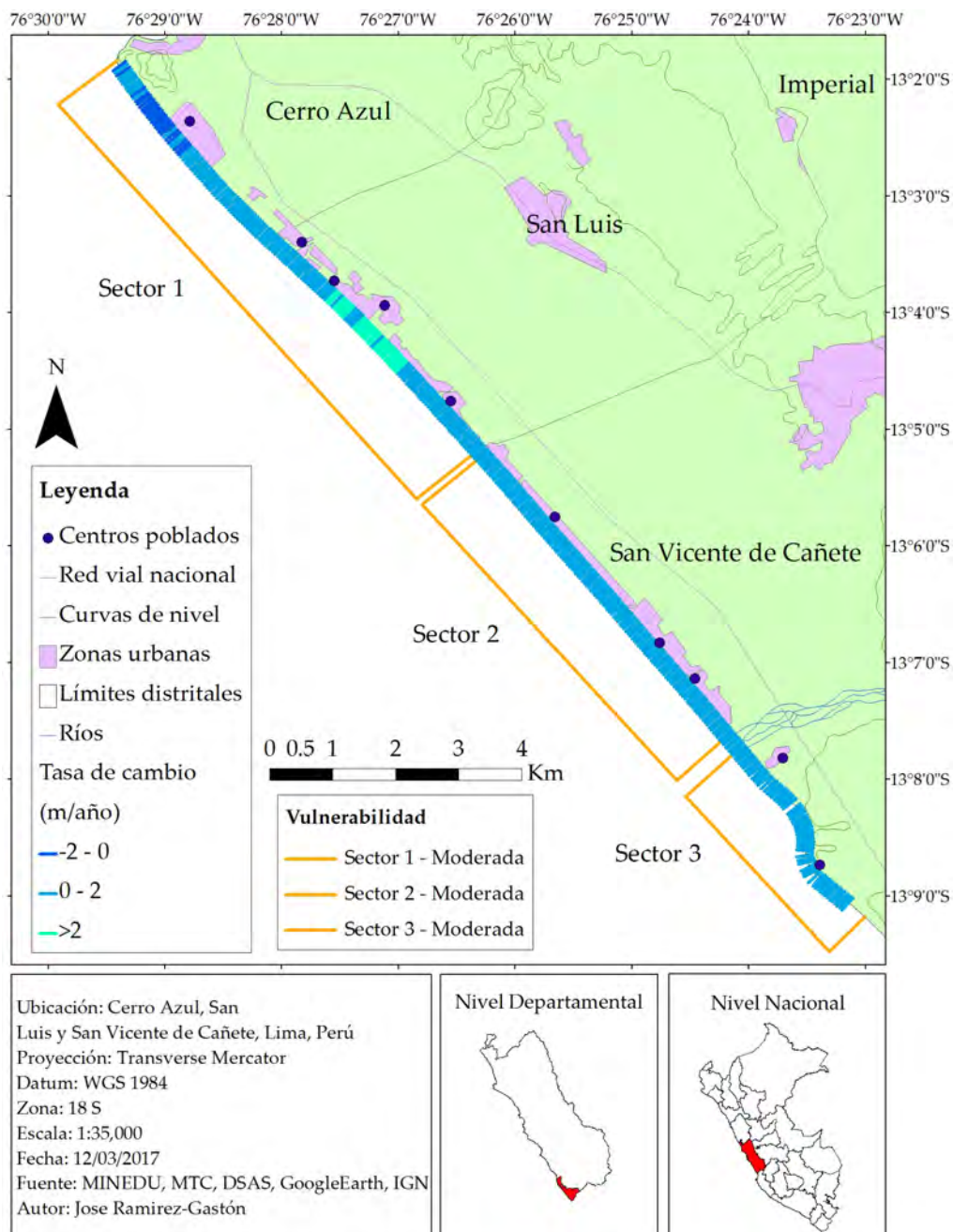


Figura 21: Tasa de cambio de la línea de costa (fuente: elaboración propia)

Como se puede ver en la Figura 21, el sector 1 tuvo 3 tipos de resultados. En el extremo norte se pudo apreciar una zona de erosión con una tasa de -2 a 0 m/año y una zona antes de llegar al extremo sur del sector que mostraba una tasa de sedimentación de más de 2 m/año. A pesar de esto, la mayoría del sector 1 mostró una tasa de sedimentación de 0 a 2 metros por año. El sector 2 mostró una tasa de sedimentación de 0 a 2 m/año en todo su recorrido, al igual que el sector 3.

La tasa promedio para el sector 1 fue de 1.18 m/año, la del sector 2 fue de 1.13 m/año y la del sector 3, de 0.41 m/año. La tasa más baja observada fue de -0.19 m/año y la más alta de 2.21 m/año, ambas se encontraban en el sector 1. La Figura 22 muestra los resultados que se obtuvieron por cada transecto de 50 m que analizó el DSAS. El sector 1 va del transecto 1 al 165; el sector 2, del 166 al 285; y el 3, del 295 al 354 (hay una brecha que corresponde a la desembocadura del río que no se considera dentro de ningún sector).

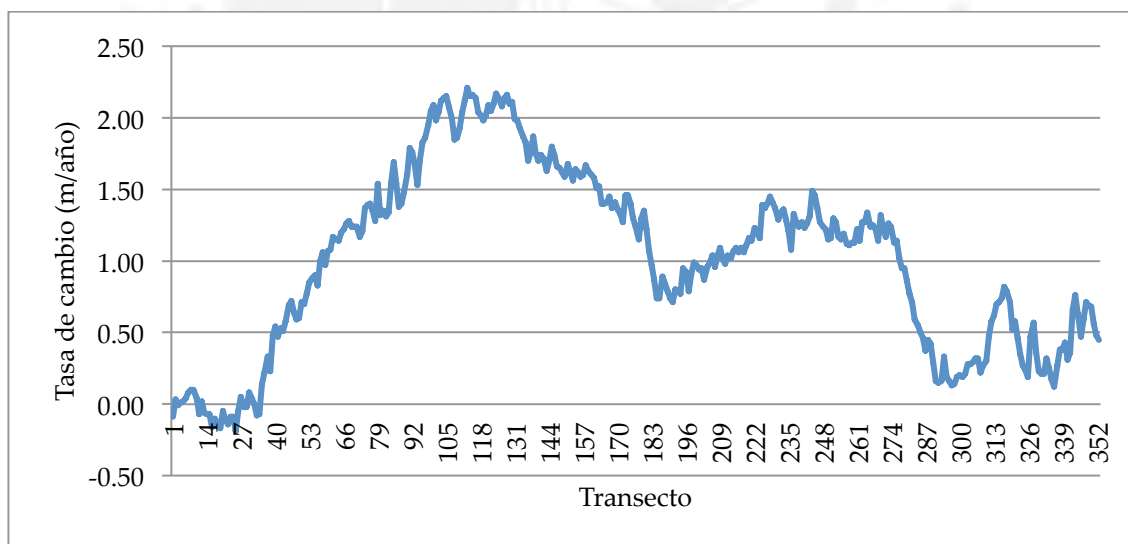


Figura 22: Tasa de cambio de la línea de costa por transectos (fuente: elaboración propia)

Adicionalmente se calculó la distancia entre las líneas de costa para cada transecto, que se puede apreciar en el Figura 23. La mayor pérdida de playa se

vio en el transecto 26 y fue de -10.7 m mientras que el mayor incremento se vio en el transecto 115 y fue de 121.7 m. Ambos transectos forman parte del sector 1. En promedio el sector 1 tuvo un incremento de 64.5 m de playa; el sector 2, de 62.5 m; y el sector 3, de 22.2 m.

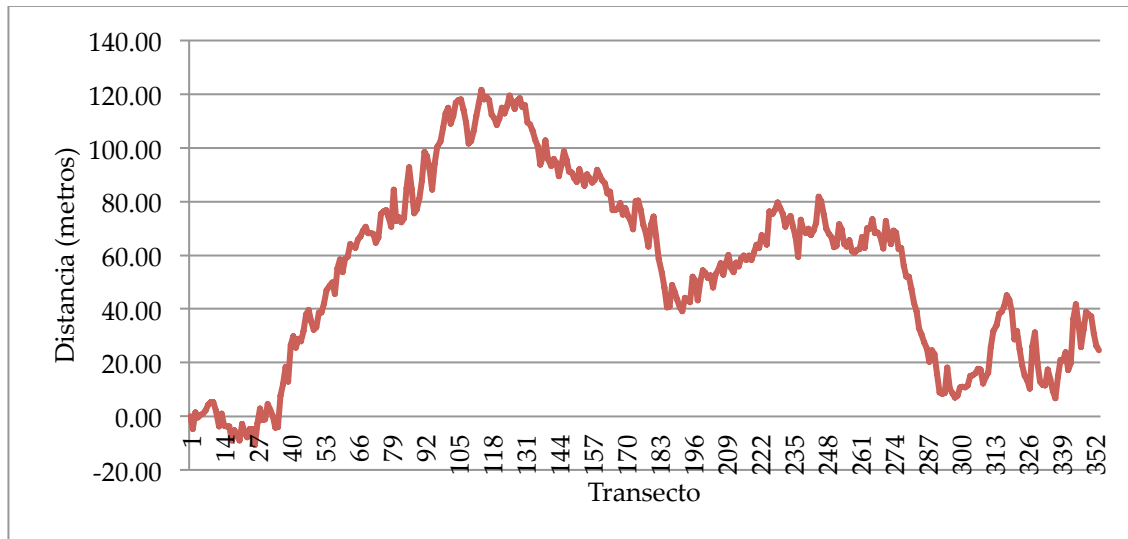


Figura 23: Movimiento neto de la línea de costa (fuente: elaboración propia)

4.5. DENSIDAD POBLACIONAL

Como se mencionó en la metodología, las dos variables socioeconómicas utilizan distintos criterios para determinar el ancho de cada sector. Sin embargo, las divisiones a lo largo de la costa no cambian y los centros poblados que se encuentran en cada sector son los mismos para ambas variables. El sector 1 incluye a los centros poblados de Puente Tabla, Don Oscar, Vista Alegre, Santa Barbara y Santa Cruz. En el sector 2 se encuentran Agua Dulce, Cochahuasi-Playa Hermosa y Boca de Río. Por último el sector 3 contiene a Herbay Bajo e Iguana.

En cuanto a la variable de densidad poblacional (Figura 24), el sector 1 tiene un área de 5.77 km² donde habitan 1733 personas. Esto da un total de 300 personas por km². El sector 2 tiene un área de 5.53 km² y una población de 2189 personas.

396 personas/km² habitan este sector. El sector 3 tiene un área de 2.28 km² y 595 habitantes, lo que arroja una cifra de 261 personas/km².

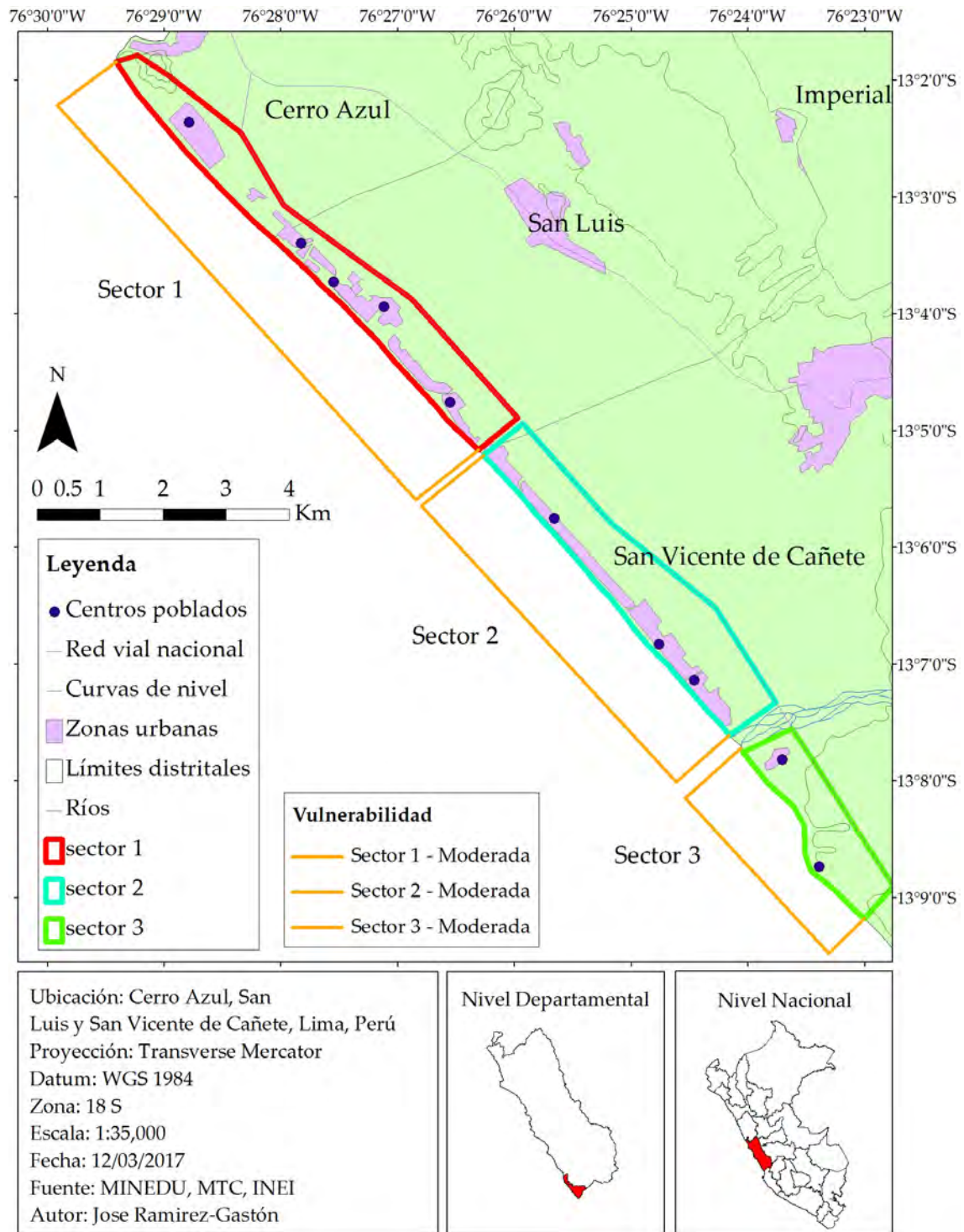


Figura 24: Densidad poblacional por sectores (fuente: elaboración propia)

4.6. USO DE SUELO

En el área de estudio se pudieron observar varios usos de suelo que han sido presentados en la Figura 25 y serán descritos a continuación. En el extremo norte del sector 1 (2.27 km²), se encuentra la zona arqueológica de El Huarco o Fortaleza de Cerro Azul, que ha sido mencionada anteriormente. Moviéndonos un poco más al sur hay una gran zona de lotizaciones. Existen viviendas pero en su mayoría se encuentran dentro de grandes lotes que han sido amurallados y se encuentran en desuso, esperando a que el suelo incremente su valor. Aproximadamente a la mitad del sector existe una zona que mezcla ganadería con viviendas. Son emprendimientos que se encuentran lejos de ser establos de gran producción. En la zona restante los usos varían entre uso exclusivo de viviendas, viviendas-establos, agricultura y canchas de fútbol que son consideradas dentro del uso de recreación. En el sector 2, que tiene un área de 1.6 km², se encontraron dos zonas marcadas. En la primera mitad (de norte a sur) hay una franja destinada al uso agrícola y frente a esta se encuentran viviendas, zonas de uso recreativo y establos. En la segunda mitad se siguen viendo zonas de uso agrícola pero predomina el uso de viviendas. Adicionalmente se encontraron pequeñas zonas de lotizaciones a lo largo del sector y 4 instituciones educativas (20872, 20186, 602 y 20247). El sector 3 es el más pequeño con tan sólo 0.8 km². Casi todos los usos, excepto los cercanos a la desembocadura del río, se encuentran en zonas elevadas. En esta parte del área de estudio predomina el uso agrícola y en la parte norte se pueden ver zonas dispersas de viviendas que pertenecen al centro poblado de Herbay Bajo.

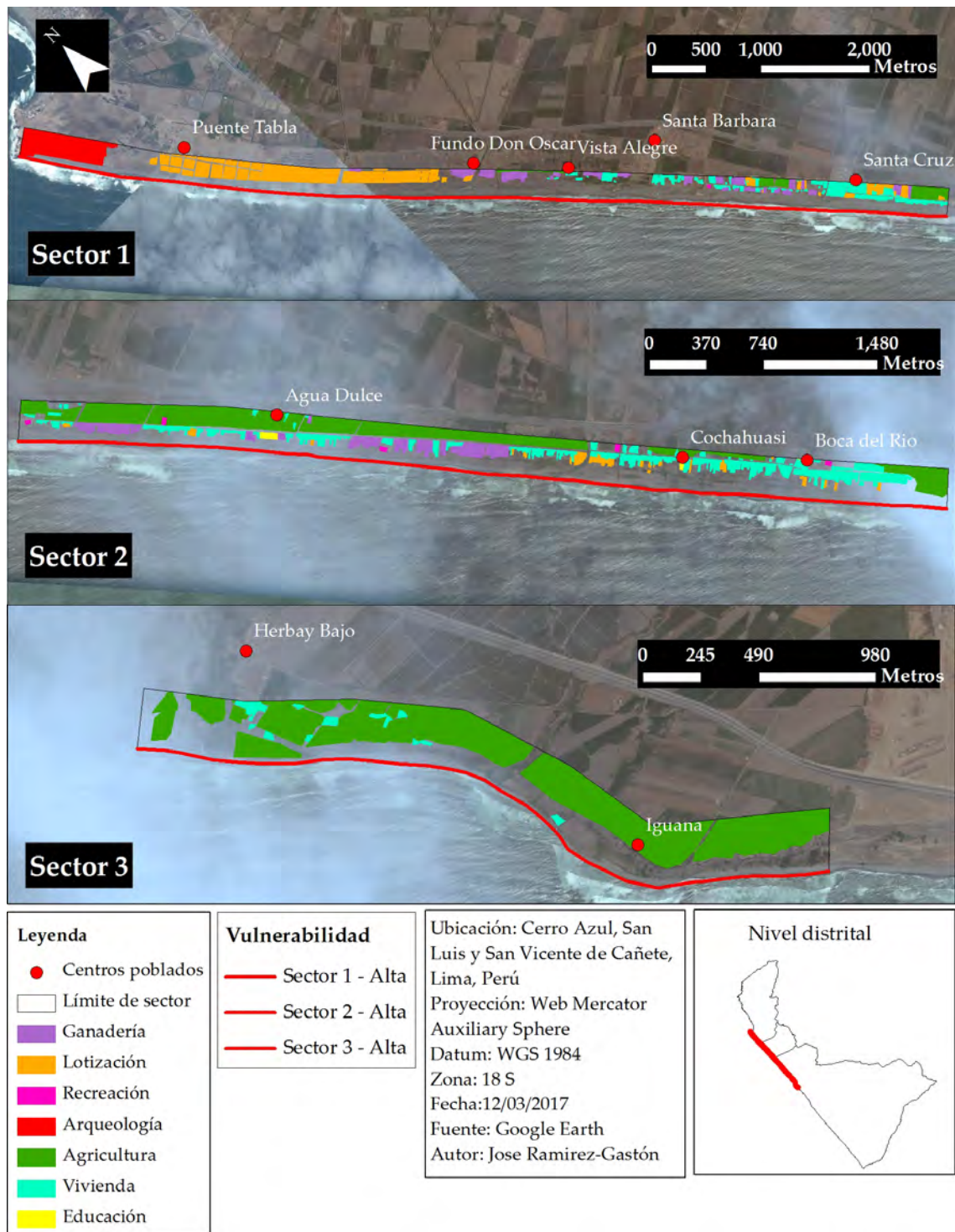


Figura 25: Uso de suelo por sectores (fuente: elaboración propia)

4.7. RESULTADOS DEL IVC

La Tabla 3 muestra los resultados del IVC, que mostraron que la vulnerabilidad en el área de estudio es de baja a moderada. Se obtuvo un nivel moderado de riesgo para los sectores 1 y 2 y un nivel bajo para el sector 3. Las variables que mostraron los valores de vulnerabilidad más altos fueron la geomorfología, el uso de suelo y la pendiente de la playa. Las variables de altura promedio de las olas, tasa de cambio de la línea de costa y densidad poblacional mostraron niveles bajos de vulnerabilidad, y en el caso de las últimas dos, homogéneas a lo largo de los tres sectores. Los resultados también han sido mostrados en la Figura 26 que se puede ver en la siguiente página.

Tabla 3: Cálculo del IVC por sectores

Variable	Nivel de vulnerabilidad		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Pendiente de la ribera	4	3	4
Altura promedio de las olas	2	2	1
Geomorfología	4	3	2
Tasa de cambio de línea de costa	2	2	2
Densidad poblacional	2	2	2
Uso de suelo	4	4	4
IVC	9.237	6.928	4.618

Fuente: elaboración propia

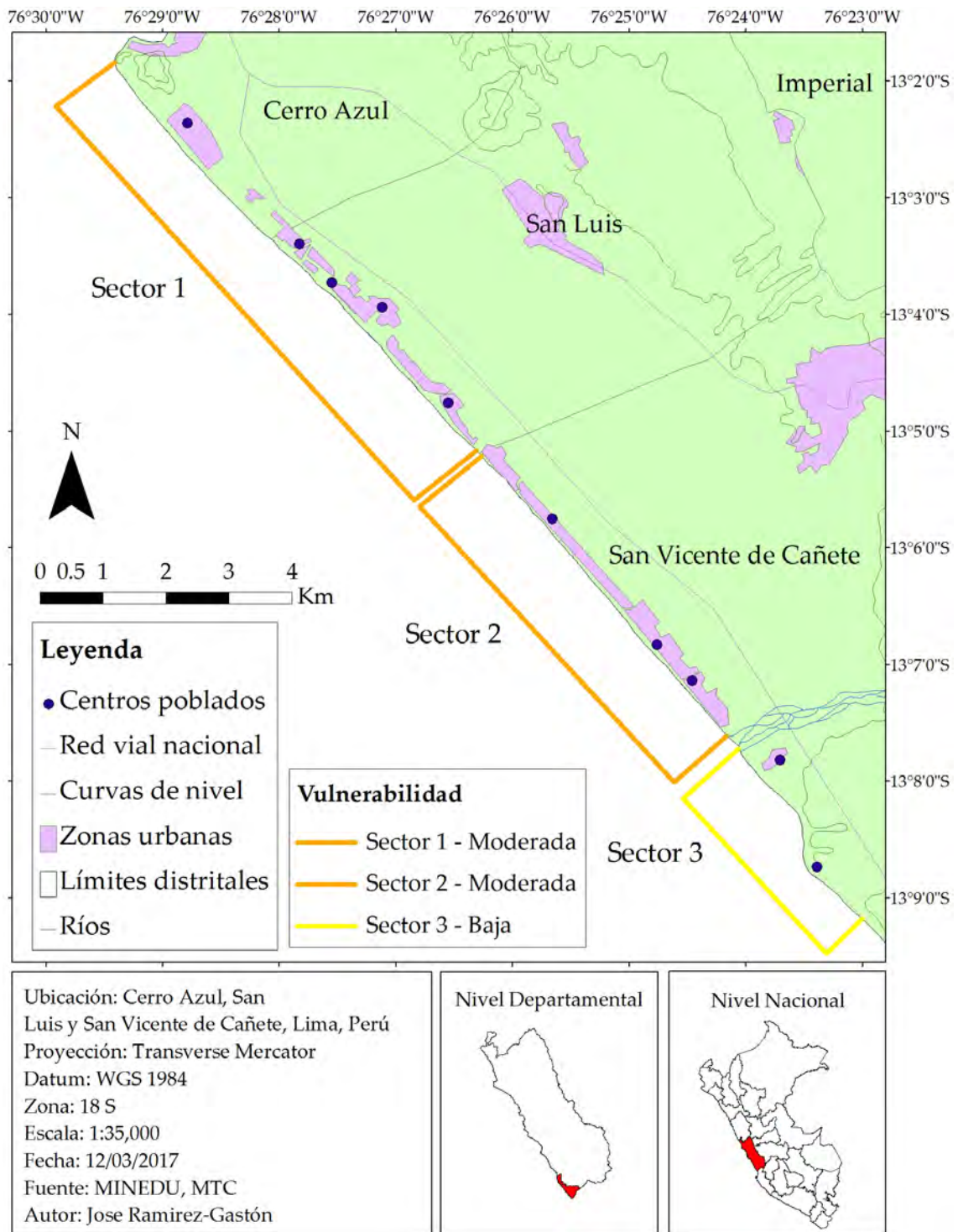


Figura 26: Resultados del IVC por sectores (fuente: elaboración propia)

CAPÍTULO 5

DISCUSIÓN

Los resultados del IVC (Tabla 3) probaron parcialmente la primera hipótesis que planteaba que el índice podía identificar la vulnerabilidad costera del área de estudio y permitir comparar sectores dentro de ella. Los sectores 1 y 2 obtuvieron valores moderados de vulnerabilidad mientras que el sector 3 un valor bajo. El resultado del sector 3 era el esperado ya que a simple vista la costa se mostraba estable y la población se encontraba en una zona elevada sobre el acantilado; en cambio, los resultados de los primeros dos sectores no fueron los que se esperaba encontrar porque se observaba una gran cantidad de asentamientos cercanos a la costa y en una zona de baja altitud que hacían suponer que la vulnerabilidad sería alta. Dentro de todo, siguiendo los pasos metodológicos correctamente y valorando las variables como corresponde, se puede notar que los resultados dan una buena indicación del nivel de vulnerabilidad que experimenta esta zona del país. Si analizamos las variables por separado veremos que algunas fueron de mucha utilidad mientras que otras no tuvieron un aporte considerable a los valores finales del índice. Por ejemplo, los variables de geomorfología, pendiente de playa y altura promedio de olas mostraron distintos valores de vulnerabilidad en los tres sectores, lo que permite hacer comparaciones entre ellos. Por otro lado, las variables de tasa de cambio de línea de costa, densidad poblacional y uso de suelo no variaron entre los sectores, lo que reduce la capacidad de análisis y lleva a recapacitar la idoneidad de los sectores elegidos. De todas las variables, la de altura promedio de olas se podría considerar la más débil pues se basa en una observación de campo y no en una serie histórica. Los valores fueron bajos porque en el momento que se hizo la observación las olas reventaban alejadas de la costa, lo que disipaba parcialmente su energía, para luego reformarse al llegar a la orilla.

En general la costa peruana se mantiene muy activa en cuanto a oleajes a lo largo del año. Frente a Cañete predominan oleajes de 0.5m a 1.3m con dirección suroeste entre los meses de octubre a abril y de 1.3m a 2m con dirección suroeste entre los meses de mayo a setiembre (Surf-forecast, 2017). Las rompientes pueden variar por distintos factores como la pendiente del lecho marino, altura, longitud de onda y dirección del oleaje, por lo que una medición hecha en la salida de campo no hace justicia a la actividad que puede suceder en la zona de rompiente en periodos de tiempo más largos. Por esta razón, considerar los datos históricos de oleaje y un estudio de la refracción de olas hubiese sido más adecuado.

Tabla 4: IVC con variables físicas

Variable	Nivel de vulnerabilidad		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Pendiente de la playa	4	3	4
Geomorfología	4	3	2
Tasa de cambio de la línea de costa	2	2	2
IVC	Alta	Moderada	Moderada

Fuente: elaboración propia

Con el objetivo de mejorar el análisis de los resultados, se aplicó el IVC por separado a las variables físicas y socioeconómicas. En ambos casos, se ajustó el rango de valores finales de vulnerabilidad de la costa dependiendo de la cantidad de variables (Tabla 5). Se debe recordar que el IVC de esta investigación contó con cuatro variables físicas y dos socioeconómicas, por lo que además se puede inferir que las primeras tuvieron más peso en el resultado final. Por razones ya expuestas se decidió dejar de lado la variable de tamaño promedio de olas para lo que continúa de la discusión. Los resultados del IVC aplicado a las variables físicas (Tabla 4) se asemejan a los que se obtuvieron en el IVC completo (Tabla 3). En este caso los sectores 1 y 2 obtienen un nivel de vulnerabilidad mayor del que tenían anteriormente. El sector 1 mostró un valor

alto mientras que los sectores 2 y 3, uno moderado. Las variables en esta sección podrían dividirse entre aquellas que muestran la exposición de la costa y las que exhiben amenaza o peligro. En el primer grupo están la pendiente de playa y geomorfología. La pendiente de playa resultó ser un buen indicador de las tendencias de erosión y deposición a corto plazo y la geomorfología, de tendencias a largo plazo. La distinción entre plazos demuestra la susceptibilidad que tiene una variable al cambio. Por ejemplo, grandes oleajes que son comunes durante el invierno pueden hacer que una variable como la pendiente cambie con la estación mientras que los aspectos geomorfológicos se mantendrían estables (Doran et al., 2015).

Tabla 5: Rangos de vulnerabilidad por IVC

Vulnerabilidad	IVC	IVC Físico	IVC Socioeconómico
Baja	0.408 - 6.838	0.577 - 1.588	0.707 - 1.237
Moderada	6.839 - 13.269	1.589 - 2.599	1.238 - 1.768
Alta	13.270 - 19.700	2.600 - 3.610	1.769 - 2.299
Muy Alta	10.701 - 26.130	3.611 - 4.620	2.300 - 2.830

Fuente: elaboración propia

En el segundo grupo se encuentra la tasa de cambio de la línea de costa que obtuvo un bajo nivel de vulnerabilidad que expresa que hay un bajo nivel de peligro de erosión costera. A diferencia de las variables físicas, el IVC aplicado a las variables socioeconómicas (Tabla 6) muestra que todos los sectores tienen un alto nivel de vulnerabilidad. Estas variables únicamente muestran la exposición de la población al peligro de erosión. Los valores de densidad poblacional dan a entender que el área de estudio está escasamente poblada pero si analizamos la evolución de los asentamientos comparando las fotos aéreas de 1961 con cómo se encuentran hoy en día podemos ver que la población y las construcciones que esta trae consigo han aumentado en 55 años y parece que seguirán aumentando en el futuro (debido a las grandes lotizaciones observadas en el extremo norte).

Tabla 6: IVC con variables socioeconómicas

Variable	Nivel de vulnerabilidad		
	Sector 1	Sector 2	Sector 3
Densidad poblacional	2	2	2
Uso de suelo	4	4	4
IVC	Alta	Alta	Alta

Fuente: elaboración propia

A diferencia del sector 3, en los sectores 1 y 2 los asentamientos se ubican próximos a la playa, lo que eleva su exposición a la erosión. El análisis del uso de suelo muestra que hay asentamientos que se encuentran muy cercanos a la línea de costa donde se realizan actividades de gran importancia. Las construcciones más vulnerables fueron observadas entre los centros poblados de Agua Dulce y Cochahuasi-Playa Hermosa en el sector 2 donde tan solo hay 50 metros que separan al mar de la población. Por otra parte se notó que en la zona de estudio se realizan dos importantes actividades económicas que son la agricultura y la ganadería. Estas actividades son susceptibles a cambios que podrían ocurrir en el mar. Además, es relevante indicar que a partir de los datos obtenidos del INEI y de la observación en la salida de campo se puede inferir que la población es de bajos recursos, lo que reduce su capacidad de adaptación y resiliencia ante los peligros.

La segunda hipótesis, que planteaba que el área de estudio estaría experimentando un proceso de erosión, fue rechazada por los resultados de la tasa de línea de costa. En realidad lo que ha ocurrido es un proceso de sedimentación significativo en 55 años. Como mostró el DSAS, sólo una pequeña sección de costa en el extremo norte ha sido erosionada y en promedio toda la zona de estudio tuvo un desplazamiento de 55.5 metros de la línea de costa hacia el mar a una tasa de 1.01 m/año.



Figura 27: Evolución de la costa entre 1961 y 2016 (fuente: elaboración propia)

En la Figura 27 se puede ver el antes y después de una parte del centro poblado de Santa Cruz. En ella se dibujó una línea desde una estructura de referencia, la cual ha permanecido casi intacta desde 1961, hacia la línea de costa y se pudo ver que hubo un incremento de 79 metros de playa. El avance observado de la línea de costa en el área de estudio podría indicar que han sucedido procesos de sedimentación y erosión y que lo primero ha predominado o que quizás todavía el área de estudio no haya sufrido un proceso de erosión. Un estudio de Tavares, C. y Drenkhan, F. (2010) señala que en el Perú los cambios en la línea de costa se dan por factores de orden local y que los efectos del INM aún no se pueden notar. Pero, esto no quiere decir que no se notarán en el futuro. Con base en el Quinto Informe del IPCC (2014), se puede decir que en un escenario de aumento del nivel del mar para el 2100, como el que se ha señalado en el marco teórico, la erosión parece ser inminente. Por eso es necesario regresar a estudiar el índice de forma integral, para encontrar las zonas donde se ubica el

mayor riesgo de erosión y así poder tomar decisiones que ayuden a reducir la vulnerabilidad de la población.

Los resultados obtenidos también sirven para preguntarnos si los criterios elegidos para delimitar los sectores fueron los mejores. Hubo dos alternativas para zonificar el área de estudio. La primera consistía en delimitar previamente las unidades homogéneas y la segunda, en identificar unidades heterogéneas mediante la superposición de capas con información de distintas variables en el SIG. En este caso, el primer método resultó ser el más adecuado debido a la geomorfología hallada, que fue la variable determinante, pero también debido a otros factores como la longitud del área de estudio. Los resultados para las demás variables sugieren que el método de superposición de variables también hubiese sido una alternativa viable. Una buena referencia para este segundo método se puede ver en Torresan et al. (2008), donde se detalla una delimitación que consiste en fusionar 5 factores (físicos y socioeconómicos) para crear sectores de tamaño irregular en 156km de costa en la región de Veneto, Italia.

Un punto de discusión adicional es el de la valoración de las variables. En esta investigación se buscó estandarizar todas las variables para que reciban una clasificación de vulnerabilidad de baja a muy alta. Al hacer esto se perdió detalle de la gama de resultados que se podría obtener. Por ejemplo, la variable de geomorfología aglomera acantilados medianos y bajos en un sólo valor (moderado). En cambio, un estudio como el de Dwarakish et al. (2009) le da valores distintos a diferentes tipos de acantilados (bajos, medianos y altos) y en total utiliza 5 valores de vulnerabilidad que van desde muy bajo a muy alto. Tener una clasificación más amplia podría ayudar a diferenciar aún más los sectores pero no siempre sería beneficioso. Los valores de vulnerabilidad bajos tendrían a verse minimizados debido a que se dividirían entre muy bajo y bajo y lo opuesto se daría para valores de vulnerabilidad altos que se verían

repartidos entre alta y muy alta vulnerabilidad, lo que podría presentar diferencias notables en el resultado final. Además, cada variable recibió el mismo valor a la hora de calcular el índice pero eso no tiene que ser así (Doukakis, E., 2004). Se pudo observar que algunas variables tienen más importancia para determinar la vulnerabilidad que otras. Por ejemplo, de todas las variables físicas, se puede decir que la tasa de cambio de la línea de costa y la geomorfología han tenido más importancia, y éstas, en combinación con las variables socioeconómicas, podrían pesar más en la formulación del IVC de un sector.

Por último se podría cuestionar si la cantidad de variables utilizadas y la proporción entre variables físicas y socioeconómicas fue la más adecuada. Varios estudios citados (Gornitz, 1990; Torresan et al., 2008; Dwarakish et al., 2009; Sousa et al., 2012) utilizaron 6 variables para sus IVC. Sin embargo existen otros, como el de Aboudha y Woodroffe (2010), que han utilizado 9 variables. En una futura investigación, se podría rehacer el índice con más variables, con igual proporción entre físicas y socioeconómicas y ver si los resultados serían similares a los obtenidos o si es que habría mucha variación.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

Esta investigación planteó que existe un proceso de erosión de las costas a nivel mundial debido al aumento del nivel del mar y se trazó como objetivo identificar la vulnerabilidad a este peligro en la costa del valle de Cañete con la elaboración de un Índice de Vulnerabilidad Costera. El área de estudio fue dividida en tres sectores y el IVC se aplicó de manera independiente en cada uno.

Los resultados mostraron que los sectores 1 y 2 tuvieron un nivel de vulnerabilidad moderado mientras que el sector 3 recibió uno bajo. Al contrario de lo que se planteó inicialmente, los resultados del DSAS mostraron que el área de estudio presenta una tendencia de avance de la línea de costa, interpretado como un proceso de sedimentación.

Debido a que el IVC mide un momento en la constante evolución de la costa, la relevancia de los resultados depende de las variables que se elijan. Para que los resultados sean acertados se debe asegurar que las variables físicas y socioeconómicas muestren las características de la costa a estudiar, que sean relativamente estables en el corto y mediano plazo, y que no se afecten entre sí.

El IVC es una herramienta simple que puede ser personalizada con pequeñas variaciones de acuerdo al criterio del investigador (e.g. elección, valoración y peso de variables, y delimitación del área de estudio). En este sentido siempre hay lugar a mejoras para obtener resultados más óptimos. Sería interesante que una aplicación futura del IVC en la costa peruana experimente con algunas variaciones que fueron tratadas en la sección de discusión y que no fueron consideradas en este trabajo, y que adicionalmente busque resolver un vacío como la causa de la sedimentación que se observó en la zona estudiada.

Por último, los resultados del IVC se muestran como un insumo clave para aportar al manejo integrado de la zona marino costera y para mantenerlo al día con las dinámicas que se dan en un espacio que se encuentra en constante cambio.



BIBLIOGRAFÍA

- Abuodha, P. y Woodroffe, C. (2010). *Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from the southeast Australia*. Journal of Coastal Conservation.
- Aguilar, M.G. (2015). *Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera Aplicado a Tres Sectores de la Región Lima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú
- Ambrosio, M. (2014). *Todo lo que necesitas saber sobre el cambio climático*. Buenos Aires: Paidós.
- Anthoff, D., Nicholls, R.J., Tol, R.S. y Vafeidis, A.T. (2006). *Global and regional exposure to large rises in sea-level: a sensitivity analysis*. Tyndall Center for climate change research.
- Autoridad Nacional del Agua. *Evaluación y Ordenamiento de los recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cañete*. 05/04/17, de Autoridad Nacional del Agua
Sitio web:
http://www.ana.gob.pe/media/296537/estudio_hidrologico_canete.pdf
- Barco, D. y Vargas, P. (2010). *El cambio climático y sus efectos en el Perú*. Moneda.
- Bird, E. (2000). *Coastal Geomorphology: an introduction*. Chichester: John Wiley.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., y Wisner, B. (1996). *Vulnerabilidad: el entorno social, político y económico de los desastres*.
- Brooks, S.M. y Spencer, T. (2012). *Shoreline retreat and sediment release in response to accelerating sea level rise: measuring and modelling cliffline dynamics on the Suffolk Coast, UK*. Glob. Planet.
- Brunn, P. (1954). *Coastal Erosion and the Development of Beach Profiles*. U.S. Army.

- Brunn, P. (1962). *Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion*. Journal Waterways and Harbors Division.
- Cooke, R.U. y Doornkamp, J.C. (1974). *Geomorphology in environmental management*. Oxford: Clarendon Press.
- Darlymple, R.W., Zaitlin, B.A. y Boyd, R. (1992). *Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications*. Journal of Sedimentary Petrology.
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Diccionario de la Lengua Española. *Definición de erosión*. 05/04/17, de Real Academia Española Sitio Web: <http://dle.rae.es/?id=G37i3AA>
- Diccionario de la Lengua Española. *Definición de marea*. 05/04/17, de Real Academia Española Sitio Web: <http://dle.rae.es/?id=ONmES6i>
- Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN). (2015). *Tabla de mareas de Cerro Azul*. 20/09/15, de Marina de Guerra del Perú Sitio web: <https://www.dhn.mil.pe/mareas>.
- Doran, K., Long, J. y Overbeck, J. (2015). A method for determining average beach slope and beach slope variability for U.S. sandy coastlines. USGS.
- Doukakis, E. (2004). *Identifying coastal vulnerability due to climate changes*. National Technical University of Athens.
- Dwarakish, G.S., Vinay, S.A., Natesan, U., Asano, T., Kakinuma, T., Venkataramana, K., Jagadeesha Pai, B. y Babita, M.K. (2009). *Coastal Vulnerability Assessment of the Future Sea Level Rise in Udupi Coastal Zone of Karnataka State, West Coast of India*. Ocean and Coastal Management.
- Emery, K.O. (1961). *A Simple Method of Measuring Beach Profiles*. Limnology and Oceanography 6.
- Emery, K.O. y Kuhn, G.G. (1982). *Sea cliffs: their processes, profiles and classification*. Geological society of America Bulletin.

- European Environment Agency (EEA). (2016). *Coastal and marine zones*. 05/04/17, de European Environment Agency Sitio web: www.eea.europa.eu/publications/92-9157-202-0/3.14.pdf
- Ferradas, P. (2012). *Riesgos de desastres y desarrollo*. Lima: Soluciones Prácticas.
- Gornitz, V.M. (1990). *Vulnerability of the East Coast, USA to Future Sea Level-Rise*. Journal of Coastal Research.
- Gornitz, V.M. (1991). *Development of a Global Coastal Hazard Database; Annual Technical Report*. Oak Ridge National Laboratory.
- Gutiérrez, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson/Prentice Hall.
- Hallam, A. (1992). *Phanerozoic sea-level changes*. New York: Columbia University Press.
- Hammar-Klose, E. y Thieler, E.R. (1999). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise. Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. U.S. Geological Survey.
- Hammar-Klose, E. y Thieler, E.R. (2001). *Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise, a Preliminary Database for the U.S. Atlantic, Pacific, and Gulf of Mexico coasts*. U.S. Geological Survey.
- Haq, B.U., Hardenbol, J. y Vail, P.R. (1987). *Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic (250 million years ago to present)*. Science.
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE). *El Niño - Oscilación del Sur*. 05/04/17, de IMARPE Sitio web: http://www.imarpe.pe/imarpe/index.php?id_seccion=I01780100000000000000
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). *Mapa Geológico del Cuadrángulo Chincha (27-k)*. 05/04/17, de INGEMMET Sitio web: <http://es.calameo.com/read/000820129da0c779f13d5>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). *Sistema de información estadística de apoyo a la prevención a los efectos del Fenómeno El Niño y otros*

fenómenos naturales. 05/04/17, de INEI Sitio web:
<http://webinei.inei.gob.pe/nino/index.php/welcome/getInicio#>

- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1995). *Mapa Ecológico del Perú*. Guía Explicativa. Lima.
- International Panel for Climate Change (IPCC). (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo 1, 2 y 3 al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC.
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres: viviendo en armonía con la naturaleza*. Lima: Quebecor World Perú S.A..
- Ley 26856 (1997). *Declaran que las playas del litoral son bienes de uso público, inalienable e imprescriptibles y establecen zona de dominio restringido*. Congreso de la República del Perú.
- Meehl, G.A. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press.
- McLaughlin, S., McKenna, J. y Cooper, J.A.G. (2002). *Socio-Economic Data in Coastal Vulnerability Indices: Constraints and Opportunities*. Journal of Coastal Research.
- Miller, K.G., Kominz, M.A., Browning, J.V., Wright, J.D., Mountain, G.S., Katz, M.E., Sugarman, P.J., Cramer, B.S., Christie-Blick, N. y Pekar, S.F. (2005). *The phanerozoic record of global sea-level change*. Science.
- Mimura, N. y Nobuoka, H. (1996). *Verification of the Brunn Rule for the estimation of shoreline retreat caused by sea-level rise*. Coastal Dynamics.
- Ministerio de Defensa del Perú (MINDEF). *Libro Blanco de Defensa Nacional*. 05/04/17, de Ministerio de Defensa del Perú Sitio web:
https://www.mindef.gob.pe/informacion/documentos/libroblanco/Capitulo_II.pdf

- Morton, R. *An Overview of Coastal Land Loss: With Emphasis on the Southeastern United States*. Open File Report 03-337. U.S. Geological Survey.
- Nordhaus, W. (2013). *The climate casino: risk, uncertainty, and economics for a warming world*. Yale University Press.
- Novoa, Z. (2007). *El Litoral Pacífico Peruano*. Sociedad Geográfica de Lima.
- Ojeda, J., Álvarez, J.I., Martín, D. y Fraile, P. (2009). *El Uso de las TIG para el Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Ante una Potencial Subida del Nivel del Mar en la Costa Andaluza*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. y McMahon, T.A. (2007). *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. Hydrol. Earth Syst. Science.
- Pugh, D. y Woodworth, P. (2014). *Sea-Level Science. Understanding Tides, Surges, Tsunamis and Mean Sea-Level Changes*. Cambridge University Press.
- Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Duarte, F., Gomes, A., Hilden, M., Laihonen, P., Marinova, N. y Santini, M. (2011). *Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change*. European Environment Agency.
- Reeve, D., Chadwick, A. y Fleming, C. (2004). *Coastal engineering-processes theory and design practice*. New York: Spon Press.
- Rice, R.J. (1983). *Fundamentos de geomorfología*. Nueva York: Longman Inc.
- Rondón, G. (2011). *Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahía de Paita, Perú 1946-2007*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Schumm, S.A. (1991). *To interpret the earth: ten ways to be wrong*. Cambridge University Press.
- Schweigger, E., 1964. *El litoral peruano*. Lima.
- SCOR. (1991). *The Response of Beaches to Sea-Level Changes: A Review of Predictive Models*. Journal of Coastal Research.

- Sousa, P., Siegle, E. y Gonzalez, M. (2012). *Vulnerability Assessment of Massaguacu Beach (SE Brazil)*. Ocean and Coastal Management.
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern Review 2007*. London: HM Treasury. The Andes. EOS.
- Surf-forecast. (2017). *Cerro Azul surf and wind distribution by month*. 05/04/17, de Surf-forecast Sitio web: http://es.surf-forecast.com/breaks/Cerro-Azul/reliability_by_month
- SustainLabour. *Los Bancos de Pesca del Perú*. 05/04/17, de International Labour Foundation for Sustainable Development Sitio web: http://www.sustainlabour.org/documentos/Pesca_04abril2014.pdf
- 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.
- Thieler, E.R., Williams, S.J. y Beavers, R. (2002). *Vulnerability of U.S. National Parks to Sea-Level Rise and Coastal Change*. U.S. Geological Survey.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. y Ergul, A. (2009). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versión 4.0 – an ArcGIS extensión for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey.
- Thornbury, W.D. (1954). *Principios de geomorfología*. Nueva York: John Wiley & Sons Inc.
- Torresan, S., Critto, A., Dalla Valle, M., Harvey, N. y Marcomini, A. (2008). *Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change: Comparing Segmentation at Global and Regional Scales*. Integrated Research System for Sustainable Science and Springer
- U.S. Geological Survey (USGS). *National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast*. 05/04/17, de U.S. Geological Survey Sitio web: <https://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/pages/cvi.html>

- Walsh Perú S.A. (2007). *EIAS Prospección Sísmica 2D y 3D – Lote Z-49*. 05/04/17, de Ministerio de Energía y Minas del Perú Sitio web: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/ARCHIVOS/estudios/EIAS%20-%20hidrocarburos/EIA/lote-z-49/4.1.4%20Oceanograf%C3%ADa%20F%C3%ADsica%20Lote%20Z-49.pdf>
- Walsh Perú S.A. (2005). *Estudio de impacto ambiental y social de los sistemas de transporte de gas natural y transporte de los líquidos de gas. Camisea – Lima. Variante Cañete*.
- Willis, J.K., Chambers, D.P., Kuo, C.Y. y Shum, C.K. (2010). *Global sea level rise: recent progress and challenges for the decade to come*. Oceanography.
- Zhang, K., Douglas, B. y Leatherman, S. (2004). *Global Warming and Coastal Erosion*. Florida International University.