



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS
ESPECIALIDAD GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE

Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Región Lima

Tesis para optar por el título de Licenciado en Geografía y Medio Ambiente que
presenta la Bachillera:

MARIA GRACIA AGUILAR LYNCH

ASESOR: DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

Lima, noviembre 2015

AGRADECIMIENTOS

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

Quiero agradecer a varias personas, sin las cuales la realización de este trabajo de investigación no hubiese sido posible. En primer lugar al Dr. Carlos Tavares Corrêa, quien no solo asesoró la formulación y elaboración del presente trabajo, sino también dio invalorable consejos y mucha paciencia, que me permitieron terminarla.

Además, quisiera agradecer al Licenciado Gustavo Rondón, por motivar la elección del tema de investigación y acompañar la elaboración y revisión de la misma. También, a la Licenciada Estefanía Fox, por el constante apoyo moral y técnico que me permitió completar la tesis.

A la Licenciada María Inés Grández y al Licenciado Fernando Leceta, por los datos generados en sus tesis, que fueron usados para examinar el índice propuesto. A la clase de Geomorfología del Litoral del 2012-02 (Romina Calderón, Romina Castagnino, Maria Alejandra Cuentas, Gabriela Flores, Carmen Guadalupe, Cristina Hara, Milagro Hernández, Karen Rayo, Mili del Rosario, Pamela Rubio, Arturo Salazar, Harold Silva, Luisana Suchún y José Luis Zuloaga) por el apoyo con la recolección de data durante la salida de campo.

Finalmente, quiero agradecer a mi familia y amigos, y en especial a mis padres y hermanos, por su apoyo incondicional y necesario para lograr todos los objetivos que me propongo, así como por empujarme a ser cada vez una mejor persona en todos los ámbitos de mi vida.

RESUMEN

La investigación “Propuesta de un Índice de Vulnerabilidad Costera aplicado a tres sectores de la Región Lima” busca adaptar una herramienta que permita evaluar la vulnerabilidad de la zona costera. El litoral es uno de los espacios donde se concentra gran parte de la población mundial; tendencia que se replica en el Perú. La vulnerabilidad de estas poblaciones, es por tanto, importante para el reconocimiento y la prevención de peligros de erosión costera futuros en el litoral limeño.

El objetivo de la investigación fue desarrollar una herramienta que permita evaluar la vulnerabilidad de la zona costera de manera que contribuya con la mejora de la calidad de vida de la población. Las hipótesis planteadas fueron: (i) La vulnerabilidad en Asia será menor que en otros sectores costeros de Lima donde se aplique el Índice, debido a la existencia de una reducida cantidad de infraestructura que pueda afectar las dinámicas naturales; (ii) El Índice de Vulnerabilidad Costera permite comparar la vulnerabilidad de diferentes sectores de la costa de Lima, mostrando las características físicas o socio-económicas que tienen mayor influencia sobre la vulnerabilidad.

El Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) fue construido a partir del *Coastal Vulnerability Index* (CVI) de la USGS, realizando modificaciones a partir de otros índices y de las características propias de la zona estudiada. Se incluyó cuatro variables físicas: pendiente de la playa, altura media de la ola, geomorfología y variabilidad de la línea de costa, para mostrar las características de la zona costera; y tres variables socio-económicas: distancia de las estructuras con el nivel medio de la marea, densidad poblacional y el uso del suelo, para incorporar la adaptación de la población. El IVC fue aplicado en tres áreas de estudio (AE) de la Región Lima: el Balneario de Asia, la Bahía de Miraflores y el sur del distrito de Chorrillos.

Se planteó que se le asigne a cada variable del IVC un valor basado en la magnitud de su contribución a la de vulnerabilidad en la costa, que va del 1 al 5 (muy baja a muy alta vulnerabilidad, respectivamente). Se delimitó un rango para cada una de ellas, según las condiciones locales, a partir de los cual se calculó la vulnerabilidad física, socio-económica y general de cada AE.

Los resultados mostraron que en términos físicos el Balneario de Asia es el más vulnerables por las condiciones que presenta la playa (7,75 puntos). Para el caso del IVC socio-económico Chorrillos es el área con mayor vulnerabilidad (5,77 puntos). El IVC total presentó a Chorrillos como la más vulnerable (17,57 puntos), seguido del Balneario de

Asia (17,57 puntos) y, finalmente, la Bahía de Miraflores (15,12 puntos). A partir del rango total de resultados del IVC se armó una clasificación que mostró que todas las AE cuentan con una vulnerabilidad baja o muy baja.

Si bien se rechazó la primera hipótesis, ya que el Balneario de Asia no fue la zona de menor vulnerabilidad; se comprobó en cierta medida la segunda, que planteaba que el IVC permitiría comparar la vulnerabilidad de diferentes sectores de la costa de Lima, mostrando las características físicas o socio-económicas que tienen mayor influencia sobre la vulnerabilidad. Siendo un primer ensayo metodológico, el IVC plantea la posibilidad de realizar mejoras que permitan plantear un Índice para la costa peruana, permitiendo priorizar las áreas costeras más vulnerables y analizando las variables que más influyen en el incremento de esta vulnerabilidad.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN.....	iii
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Justificación	2
1.3 Hipótesis.....	3
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Litoral, Costa, Playa, Línea de costa, Orilla.....	4
2.2 Olas y ondas	7
2.3 Morfología de la playa.....	9
2.4 Procesos geodinámicos costeros.....	11
2.5 Elevación del nivel del mar.....	13
2.6 Variación de la línea de costa.....	15
2.7 Empleo del SIG en la cuantificación de las variaciones de la línea de costa.....	18
2.8 Vulnerabilidad	20
2.9 Vulnerabilidad en zonas costeras.....	21
2.10 Vulnerabilidad en zonas costeras y cambio climático	22
2.11 Índice de Vulnerabilidad Costera.....	23
3 ÁREA DE ESTUDIO	25
3.1 AE1: Balneario de Asia	25
3.1.1 Localización.....	25
3.1.2 Delimitación del área de estudio.....	27
3.1.3 Características climáticas.....	29
3.1.4 Características geológicas y geomorfológicas a escala general.....	31
3.1.5 Características de seguridad física.....	33
3.1.6 Características socio-económicas	33
3.2 AE2: Bahía de Miraflores.....	36
3.2.1 Localización.....	36
3.2.2 Delimitación del área de estudio.....	38

3.2.3	Características climáticas.....	38
3.2.4	Características geológicas y geomorfológicas	38
3.2.5	Características de seguridad física.....	40
3.2.6	Características socio-económicas	41
3.3	AE3: Chorrillos.....	42
3.3.1	Localización.....	42
3.3.2	Delimitación del área de estudio.....	42
3.3.3	Características climáticas.....	44
3.3.4	Características geológicas y geomorfológicas	44
3.3.5	Características de seguridad física.....	45
3.3.6	Características socio-económicas.....	46
4	METODOLOGÍA.....	47
4.1	Índice de Vulnerabilidad Costera	48
4.2	Información recogida en campo	53
4.2.1	Ficha litoral	53
4.2.2	Perfiles de playa.....	53
4.3	Información obtenida en gabinete.....	54
4.3.1	Margen de error	55
4.3.2	Análisis espacio temporal	56
4.3.3	Recolección de información de las variables.....	59
5	RESULTADOS.....	61
5.1	Información recogida en el campo.....	61
5.1.1	Ficha litoral	61
5.1.2	Perfiles de playa.....	64
5.2	Información obtenida en el gabinete.....	67
5.2.1	Margen de error	67
5.2.2	Análisis espacio temporal – Balneario de Asia	68
5.3	Índice de vulnerabilidad costera	73
6	DISCUSIÓN.....	78
7	CONCLUSIONES	83
8	BIBLIOGRAFÍA.....	85
9	ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Componentes de la ola.</i>	7
<i>Figura 2. Cambio de dirección de las olas por refracción.</i>	8
<i>Figura 3. Unidades de la morfología de la playa.</i>	9
<i>Figura 4. Fuerzas que actual sobre el perfil de equilibrio.</i>	12
<i>Figura 5. Etapas de la regla de Brunn.</i>	15
<i>Figura 6. Esquema de una típica célula litoral y sus componentes.</i>	17
<i>Figura 7. Ubicación de la Provincia de Cañete y del distrito de Asia dentro del departamento de Lima.</i>	26
<i>Figura 8. Delimitación del área de estudio.</i>	28
<i>Figura 9. Mapa de ubicación de los clubes que conforman el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	29
<i>Figura 10. Mapa del departamento de Lima según la clasificación de Thornthwite.</i>	30
<i>Figura 11. Mapa geológico de la zona del área de estudio (Balneario de Asia).</i>	32
<i>Figura 12. Población total del distrito de Asia, entre los años 1993 y 2002.</i>	34
<i>Figura 13. Tasa de crecimiento poblacional para el distrito de Asia y la Provincia de Cañete, entre los años 1993-2001.</i>	34
<i>Figura 14. Número de viviendas según la condición de ocupación.</i>	35
<i>Figura 15. Ubicación de los distritos que conforman la Bahía de Miraflores, Provincia de Lima, Región Lima.</i>	37
<i>Figura 16. Mapa geológico de la Bahía de Miraflores.</i>	39
<i>Figura 17. Ubicación de los distritos del área de estudio 3(Chorrillos).</i>	43
<i>Figura 18. Mapa geológico de Chorrillos y Lurín, en el área de estudio 3.</i>	45
<i>Figura 19. Esquema de la metodología que será utilizada.</i>	47
<i>Figura 20. Levantamiento de perfil de playa según el método Emery.</i>	54
<i>Figura 21. Triángulo para calcular el ángulo de la pendiente del perfil de playa</i>	55
<i>Figura 22. Triángulo para calcular la variación horizontal de la marea</i>	56
<i>Figura 23. Ubicación de los puntos donde se levantó la información de la ficha litoral y los perfiles de playa realizado en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	61
<i>Figura 24. Llanura litoral en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	63
<i>Figura 25. Perfil de playa 1 en el área de estudio 1 (Balneario de Asia). Exageración del eje Y en un ratio de 10:1. Elaboración propia.</i>	64
<i>Figura 26. Perfil de playa 2 en el AE1, Balneario Asia. Exageración del eje Y en un ratio de 10:1. Elaboración propia.</i>	65
<i>Figura 27. Acumulación de agua del mar entre dos bermas en el perfil 2.</i>	65
<i>Figura 28. Perfil de playa 3 del área de estudio 1 (Balneario de Asia). Exageración del eje Y en un ratio de 10:1.</i>	66
<i>Figura 29. Perfiles de playa 1, 2 y 3 del área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	67
<i>Figura 30. Variación de la línea de costa norte en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	69
<i>Figura 31. Variación de la línea de costa sur en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	70
<i>Figura 32. Amplitud de desplazamiento (SCE) entre 1969 -2007 para el área de estudio 1</i>	

(Balneario de Asia)..... 71

Figura 33. Movimiento neto de la línea de costa (NSM) entre 1969 – 2007 para el área de estudio 1 (Balneario de Asia)...... 72

Figura 34. Tasa de cambio final (EPR) entre 1969-2007 para el área de estudio 1 (Balneario de Asia). 72

Figura 35. Vulnerabilidad de las áreas de estudio para el Índice de Vulnerabilidad Costera, el Índice de Vulnerabilidad Costera físico y el Índice de Vulnerabilidad Costera socio-económico..... 77



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Las tres escalas de clasificación costera.</i>	5
<i>Tabla 2. Procesos que afectan la zona costera (3er orden).</i>	6
<i>Tabla 3. Áreas de estudio consideradas en la investigación.</i>	25
<i>Tabla 4. Coordenadas de las puntas que delimitan el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	27
<i>Tabla 5. Coordenadas de las puntas que delimitan el área de estudio 2 (Bahía de Miraflores).</i>	38
<i>Tabla 6. Relación histórica de los principales tsunamis y maremotos que afectaron la Bahía de Miraflores.</i>	41
<i>Tabla 7. Población de los distritos que conforman el área de estudio 2 (Bahía de Miraflores).</i>	42
<i>Tabla 8. Coordenadas de los límites que delimitan el área de estudio 3 (Chorrillos).</i>	42
<i>Tabla 9. Población de los distritos que conforman el área de estudio 3 (Chorrillos).</i>	46
<i>Tabla 10. Variables del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC).</i>	51
<i>Tabla 11. Datos de las fotografías aéreas que serán utilizadas.</i>	57
<i>Tabla 12. Datos de las imágenes satelitales que serán utilizadas.</i>	57
<i>Tabla 13. Resumen de ficha litoral para los tres perfiles de playa del área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	62
<i>Tabla 14. Resultados del margen de error para los perfiles de playa del área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	68
<i>Tabla 15. Resultados del análisis del Digital Shoreline Analysis System para el área de estudio 1 (Balneario de Asia).</i>	68
<i>Tabla 16. Datos de las áreas de estudio por variable.</i>	73
<i>Tabla 17. Puntajes obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera para cada área de estudio.</i>	74
<i>Tabla 18. Resultados del Índice de Vulnerabilidad Costero físico, socio-económico y total para las áreas de estudio.</i>	75
<i>Tabla 19. Rangos de clasificación de la vulnerabilidad para los tres Índices de Vulnerabilidad Costeros.</i>	76

1 INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son de gran importancia en todo el mundo puesto que habitan dentro de ellas alrededor del 45 % de la población mundial (PNUD, 2014), quienes deben convivir con ecosistemas tanto marinos como terrestres. Estas zonas albergan grandes ciudades, lo que implica una presión no solo por parte de los habitantes, pero también de las actividades que realiza esta población sobre el espacio y sobre los recursos naturales de las franjas litorales. La tendencia se replica en Latino América y el Caribe, donde tres cuartos de la población vive a menos de 200 km de la línea de costa (Hinrichsen, 1998), lo que genera, también, presiones en términos ambientales. De igual manera, la costa peruana cuenta con 3 080 km de longitud y reúne alrededor de 55% de la población nacional (IMARPE, 2010). La zona marino costera presenta una interconexión entre el océano y el continente, haciéndola un espacio de fragilidad, ya que cualquier variación en estos medios impactará directamente sobre las condiciones de vida de la población. Las consecuencias de las presiones sobre el litoral pueden ser desastrosas, no solo para el medio litoral, sino también para las poblaciones humanas quienes pueden verse afectada por las dinámicas litorales (Grupo COP 20, 2014). Por estas razones, el presente trabajo busca construir un Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) que permita conocer y comparar la situación de diferentes zonas costeras de Lima. Conociendo el posible impacto físico y la adaptación de las poblaciones que residen cerca de la línea de costa, se podrá estimar y comparar la vulnerabilidad a la que se enfrentan.

La comparación de las zonas costeras, incluye a la Bahía de Miraflores y la zona litoral del distrito de Chorrillos, estudiadas previamente por Leceta (2009) y Grández (2010) respectivamente. Además, se incorpora una nueva zona de estudio: las playas de Asia, que se localizan en el distrito del mismo nombre, en la provincia de Cañete dentro del departamento de Lima, y se ubica al sur de Lima Metropolitana, entre 12° 45' 00" y 12° 25' 30" Sur, y 76° 37' 30" y 76° 30' 00" Oeste (INDECI-PNUD, 2003). El distrito puede ser considerado una zona litoral, ya que está delimitado en el oeste por el Océano Pacífico, lo que conduce a que mucha de las actividades que se llevan a cabo dentro de él, se encuentren relacionadas con este medio. Durante la última década se han dado importantes procesos de desarrollo al sur de Lima, teniendo al Balneario de Asia como uno de los distritos protagonistas. El aumento de superficie construida en la costa es un proceso que se viene dando en muchos lugares alrededor del mundo, pero que tiende a tener consecuencias similares: "un muro de cemento en la costa que está vacío la mayor

parte del año, en alusión a las segundas residencias” (Méndez, 2008). Lo mismo viene sucediendo en Asia, conduciendo a un rápido incremento de la población y de servicios, aunque principalmente de manera estacional. La incipiente expansión urbana la ha convertido en un foco de desarrollo económico, lo que involucra una presión sobre este espacio, en especial durante los meses de verano (diciembre-marzo). No obstante, la población que reside en el distrito durante todo el año se encuentra, también, en incremento.

1.1 Objetivos

El objetivo general de la investigación es **desarrollar una herramienta que permita evaluar la vulnerabilidad de la zona costera de manera que contribuya con la mejora de la calidad de vida de la población**. Esto se logrará a partir de los siguientes objetivos específicos:

- Describir y recopilar las principales características geomorfológicas y socioeconómicas de las playas de Asia, la Bahía de Miraflores y Chorrillos.
- Evaluar las tendencias de la línea de costa, identificando sectores de deposición y erosión en las zonas del Balneario de Asia, la Bahía de Miraflores y Chorrillos.
- Ajustar el Índice de Vulnerabilidad Costera al estudio de acuerdo con las variables seleccionadas y las zonas de estudio.
- Evaluar la eficacia del Índice de Vulnerabilidad Costera a través de la comparación de diferentes áreas costeras en la Región Lima.

Se responderán, además, las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cuán estable es la línea de costa en las playas de Asia, la Bahía de Miraflores y Chorrillos?
- ¿Cuán vulnerable son los sectores costeros al comparar los sectores de Asia, la Bahía de Miraflores y Chorrillos?
- ¿Cuán eficaz es el Índice de Vulnerabilidad Costera para ser aplicado en diferentes costas de la Región Lima?

1.2 Justificación

Como se mencionó anteriormente, la zona costera es un lugar de extrema importancia en el mundo, ya que concentra grandes poblaciones y ciudades, y al mismo tiempo una serie de actividades de suma importancia para la sociedad en su conjunto. Es esencial, por

tanto, conocer la geomorfología y dinámicas naturales de las zonas litorales, la manera en que son influenciadas por los seres humanos y las relaciones que se dan entre ambos.

El rápido crecimiento de la población y los servicios hace aún más necesario que se conozca la geomorfología sobre la cual se asienta esta población, para entender los procesos naturales que ocurren en la zona. De esta manera se podrá comprender las vulnerabilidades que se pueden generar a partir de las formas de asentamiento.

La construcción de un Índice de Vulnerabilidad Costera, permite analizar la vulnerabilidad presente en la zona costera, tomando en cuenta las dinámicas litorales, así como el asentamiento de la población. Al comparar diferentes áreas, se permite evaluar la eficacia del Índice con características divergentes y establecer la influencia de ciertas características que incrementen la vulnerabilidad en áreas cercanas a la línea de costa. Por tanto, podría ser una herramienta de utilidad para el reconocimiento y la prevención de peligros de erosión costera futuros en el litoral limeño.

1.3 Hipótesis

- La vulnerabilidad en el Balneario de Asia será menor que en otros sectores costeros de Lima donde se aplique el Índice, debido a la existencia de una reducida cantidad de infraestructura humana que pueda afectar las dinámicas naturales.
- El Índice de Vulnerabilidad Costera permite comparar la vulnerabilidad de diferentes sectores de la costa de Lima, mostrando las características físicas o socio-económicas que tienen mayor influencia sobre la vulnerabilidad.

2 MARCO TEÓRICO

El siguiente capítulo describe los principales conceptos, como base para el desarrollo de esta investigación. Se inicia con la definición de términos elementales relacionados al litoral y la playa, para luego describir la generación de las olas y la morfología de la playa. A partir de esto se permite explicar los procesos geodinámicos que se dan en las zonas costeras, incluyendo teorías como el perfil de equilibrio y la regla de Brunn. A continuación se describe la variación en la línea de costa, y los principales métodos utilizados para su cuantificación. Se ahondará en el significado de la vulnerabilidad, concentrándose en la vulnerabilidad del litoral, e incluyendo conceptos como el de elevación del nivel del mar. Se finalizará con una explicación sobre los Índices de Vulnerabilidad Costera.

2.1 Litoral, Costa, Playa, Línea de costa, Orilla

Es de vital importancia definir y entender las diferencias entre estos conceptos, puesto que en general comprenden áreas muy similares, lo que tiende a causar confusión. El litoral se refiere al área donde ocurren “múltiples interferencias que se deben al contacto que la tierra y el mar tiene o ha podido tener en el pasado” (Novoa, 2007). Se refiere, por tanto, a un espacio que se encuentra por debajo y por encima del mar y que es afectada por este, dándose como una zona de transición entre el ámbito terrestre y marino, donde sus elementos se encuentran estrechamente imbricados (Nonn, 1987). El término costa o zona costera, puede ser considerada un sinónimo de litoral, puesto que también corresponde a una extensa zona de interrelación entre los elementos marinos y terrestres (Suárez, 2005).

Las zonas litorales o costeras no son todas iguales, por el contrario se encuentran diferentes tipos de representaciones, las cuales se verán afectadas por una multiplicidad de factores, como el clima actual y pasado, la variación del nivel del mar, la isostasia y la actividad tectónica, los procesos costeros, la disponibilidad de sedimentos, la acción humana, entre otros. Debido a la complejidad y número de factores que influyen las zonas costeras, se han establecido una gran variedad de clasificaciones para su descripción, orden y definición. Los variados y numerosos tipos de clasificación dependen de la percepción y el entendimiento que tiene el autor respecto a las formas y funcionamiento de esta zona, y asimismo al propósito por el cual se realiza esta codificación. Se pueden encontrar clasificaciones generales aplicadas a todas las áreas litorales en el mundo pero que carecen de especificidad, o clasificaciones enfocadas en

un propósito específico (dunas, arrecife de coral, acantilados, entre otros) pero que dan una cobertura desigual de las unidades taxonómicas que comprenden toda el área costera (Finkl, 2004). No obstante, no se debe considerar que estas clasificaciones son equívocas, pero deben ser tomadas con la cautela y entendimiento de los beneficios y problemas que conllevan.

Para la investigación llevada a cabo, se ha decidido centrarse en la clasificación de Inman y Nordstrom (1971), basada en la tectónica de placa y morfología de la zona costera. La clasificación cuenta con tres escalas, contenida cada una en la anterior (Viles & Spencer, 1995). La Tabla 1 permite reconocer los tres órdenes bajo las cuales se genera esta clasificación.

Orden	Controles	Resultados
<i>1er orden</i>	Placas tectónicas	Plano costero y plataforma continental
<i>2do orden</i>	Erosión y deposición que modifica las características del primer orden.	Deltas, estuarios, dunas
<i>3er orden</i>	Acción de las olas y tamaño del sedimento	Playas, corrientes a lo largo de la costa, barras, marismas.

**Tabla 1. Las tres escalas de clasificación costera.
Adaptado de (Viles & Spencer, 1995)**

El primer orden propone una clasificación a gran escala basada en la tectónica de placas. La ubicación de la costa en relación al margen de la placa tectónica sobre la cual se encuentra produce una división a gran escala de las costas. En el caso de los márgenes convergentes, las costas se encuentran típicamente caracterizadas por el transporte de sedimento desde las zonas montañosas hacia la costa, así como por una estrecha plataforma continental y aguas profundas cercanas a la línea de costa. Los márgenes pasivos o de fricción son alimentados por grandes ríos que normalmente drenan grandes cantidades de sedimentos finos en amplias plataformas continentales. Muchos de los principales deltas del mundo están asociados con márgenes pasivos.

El segundo orden describe la morfología, generando una modificación más local de las características del primer orden. A partir de la última era glacial, los cambios en la cantidad de hielo sobre los continentes y los niveles del mar han producido una variedad de respuestas por parte de las costas. El aumento o disminución del nivel del mar influyen sobre la presencia de fuentes de sedimentos para las costas, por lo que estas verán transformaciones a medida que se generan estos cambios.

Finalmente, el tercer orden, depende de procesos actuales como es el efecto de las olas

sobre la costa. La erosión, deposición y transporte de sedimento local depende del tipo de ola que azota la costa. Los procesos que afectan la zona costera son divididos en 3 tipos: efecto erosivo, efecto deposicional y aumento orgánico. En la Tabla 2 se muestra un resumen de estos procesos clasificados (Viles y Spencer, 1995).

<i>Efectos erosivos</i>	Erosión por las olas Erosión por glaciales Erosión eólica Erosión biológica
<i>Efectos deposicionales</i>	Deposición por las olas Deposición por glaciales Deposición fluvial Deposición eólica
<i>Aumentos orgánicos</i>	Arrecifes de coral o algas Manglares y pantanos

**Tabla 2. Procesos que afectan la zona costera (3er orden).
Adaptado de (Viles & Spencer, 1995)**

La clasificación de Inman y Nordstrom incluye una variedad de escalas espaciales y temporales, sin embargo no comprende otros factores como el tipo de sedimento. Hay una gran variedad de otras clasificaciones, fueron detalladamente descritas por Finkl (2004).

La línea de costa es también un concepto de gran importancia dentro de las zonas litorales, y que puede ser definida como el borde de la tierra en el límite de la marea alta, para el caso de playas. En zona de acantilados se considera el pie del mismo en contacto con la marea alta. Se debe diferenciar de la orilla, considerada como el borde del mar que se encuentra en constante movimiento. Por lo tanto, la orilla siempre estará variando de posición, por lo que se encuentra que hay una orilla de baja, media y alta marea. En comparación, la línea de costa se mantiene constante y no sumergida, bajo condiciones normales (Bird, 2008).

Las líneas de costas que se utilizarán en este trabajo, son el reflejo de la posición del contacto entre el mar y la tierra en un momento determinado. Pero esto debe ser tomado con mucha cautela, ya que la información recogida en un momento en el tiempo, no siempre representan las condiciones “normales” de esa zona en particular (Boak y Turner, 2005).

2.2 Olas y ondas

Las olas u ondas pueden ser definidas como movimientos ondulantes sobre la superficie del océano. Las olas “nacen en altamar, en aguas profundas, bajo el impulso del viento” (Nonn, 1987, 18) produciendo movimientos orbitales en las partículas que conforman el agua. Se dividen entre olas de mar de fondo (*swell waves*), generadas en altamar, y olas de mar de viento (*sea waves*), que se originan por vientos locales. La ola se conforma por tener una cresta (tope de la ola) y un seno (la sección más profunda). A partir de la diferencia entre la cresta y el seno, se calcula la altura de la onda (H), mientras que la longitud se mide por la distancia entre dos crestas o dos senos (L) (Ver Figura 1). La altura de una onda, dependerá de la velocidad de los vientos, de la duración y la extensión (*fetch*) de la superficie del océano sobre el cual el viento actúa.

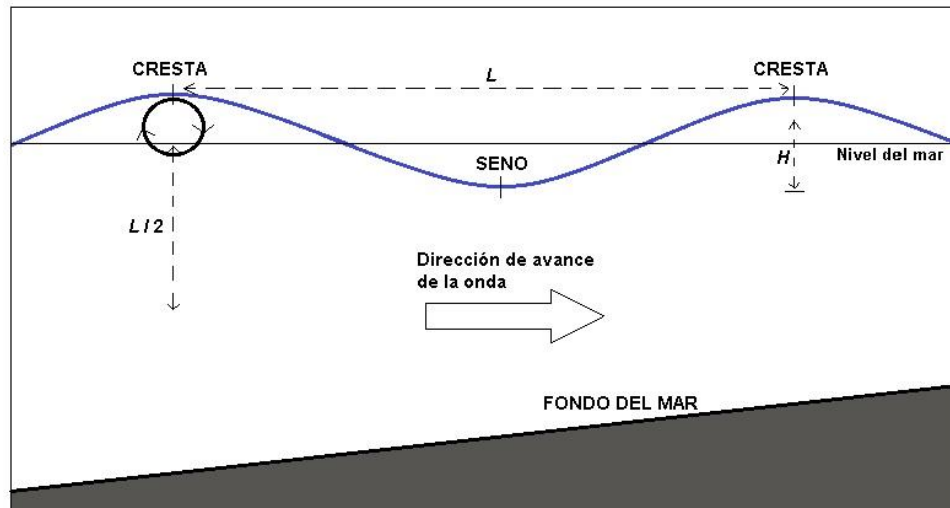


Figura 1. Componentes de la ola.
Fuente: (Bird, 2008). Elaboración propia.

Después que las olas abandonan su zona de origen, se propagan en dirección a la costa. Mientras se desplazan en agua profundas mantienen el movimiento orbital circular de las partículas de agua y no son afectados por el fondo. Con la disminución de la profundidad el movimiento orbital de la ola se vuelve más elíptico. Esto sucede a medida que las olas se acercan a la costa, aumentando la fricción con el fondo y reduciendo su velocidad de propagación o celeridad (C). Lo que implica una reducción en la longitud de onda (L), mientras que la altura (H) se incrementa y el período (T) permanece constante. La cresta se vuelve cada vez más empinada y estrecha, aumentando su velocidad. Cuando el movimiento circular de la ola no puede ser completado, la cresta colapsa formando una rompiente. La rompiente produce un torrente de agua que sube sobre la costa (*swash*),

seguido por un regreso del agua hacia el mar por gravedad (*backwash*) (Bird, 2008).

Las olas pueden ser clasificadas, también, según el tipo de rompiente. Galvin (1968), propone los siguientes 4 tipos:

- Rompiente en derrame (*spilling*)

Este tipo de rompiente se da en playas de escasa pendiente y con un fondo relativamente plano ($< 3^\circ$). Las ondas rompen de forma gradual, pero totalmente, disipando su energía mientras lo hacen. Tiene una forma cóncava en ambos lados de la cresta, que es mantenida después de la ruptura.

- Rompiente en voluta (*plunging*)

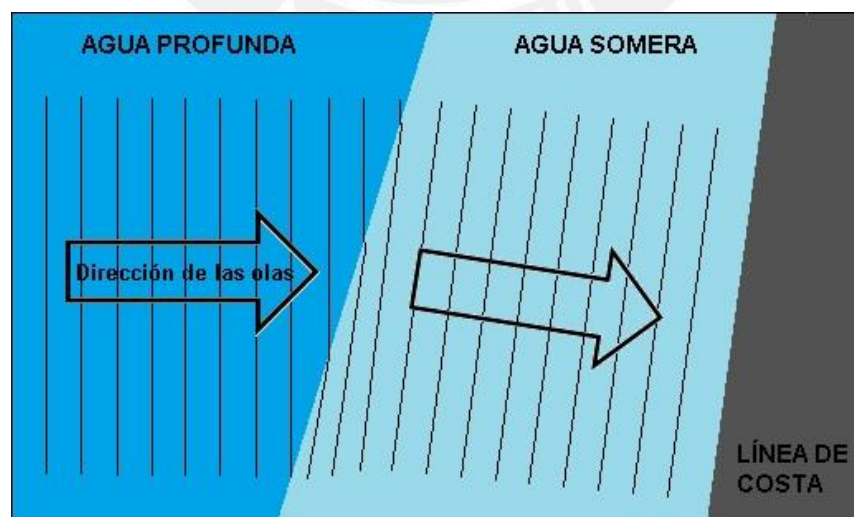
La rompiente en voluta se da en playas con pendiente intermedia ($3 - 11^\circ$) y fondos suaves. La onda rompe de forma violenta, debido a la superación de la cresta con respecto al núcleo. Cuenta con una forma cóncava en su parte interior y convexa en su parte posterior.

- Rompiente en ondula (*surging*)

Este tipo de rompiente se presenta en playas con pendientes elevadas ($> 15^\circ$), y se caracteriza por tener una cresta que no llega a romperse, pero que se desliza ascendiendo por la cara de la playa. Gran parte de la energía es disipada sobre la playa.

- Rompiente en colapso (*colapsing*)

Se trata de una fase intermedia entre la rompiente en ondula y la rompiente en voluta. Se da en playas con pendientes intermedias ($11 - 15^\circ$). La energía de la onda es disipada sobre la cara de la playa



**Figura 2. Cambio de dirección de las olas por refracción.
Elaboración propia.**

A medida que la ola se aproxima hacia la costa se produce un cambio de dirección en las ondas, conocido como refracción (Ver Figura 2). Este proceso responde a cambios diferenciados en la profundidad de diferentes sectores de la costa. Se produce una disminución de la velocidad en los sectores donde se reduce la profundidad, mientras que en otros la velocidad original se mantiene, lo que genera un cambio en la orientación de las olas. Esta modificación se da en el límite de las aguas profundas con aguas someras, la cual se forma cuando la distancia entre el nivel del mar y el fondo es menor a la mitad de la longitud de la ola ($L/2$). La refracción tiende a orientar las olas de forma paralela a la línea de costa (Nonn, 1987).

2.3 Morfología de la playa

En términos generales se puede describir las características morfológicas de la playa a partir de un perfil transversal. Representa un corte transversal de la playa, y se extiende desde la parte emersa hacia la parte inmersa, identificando cuatro unidades diferenciadas, que pueden observarse en la Figura 3.

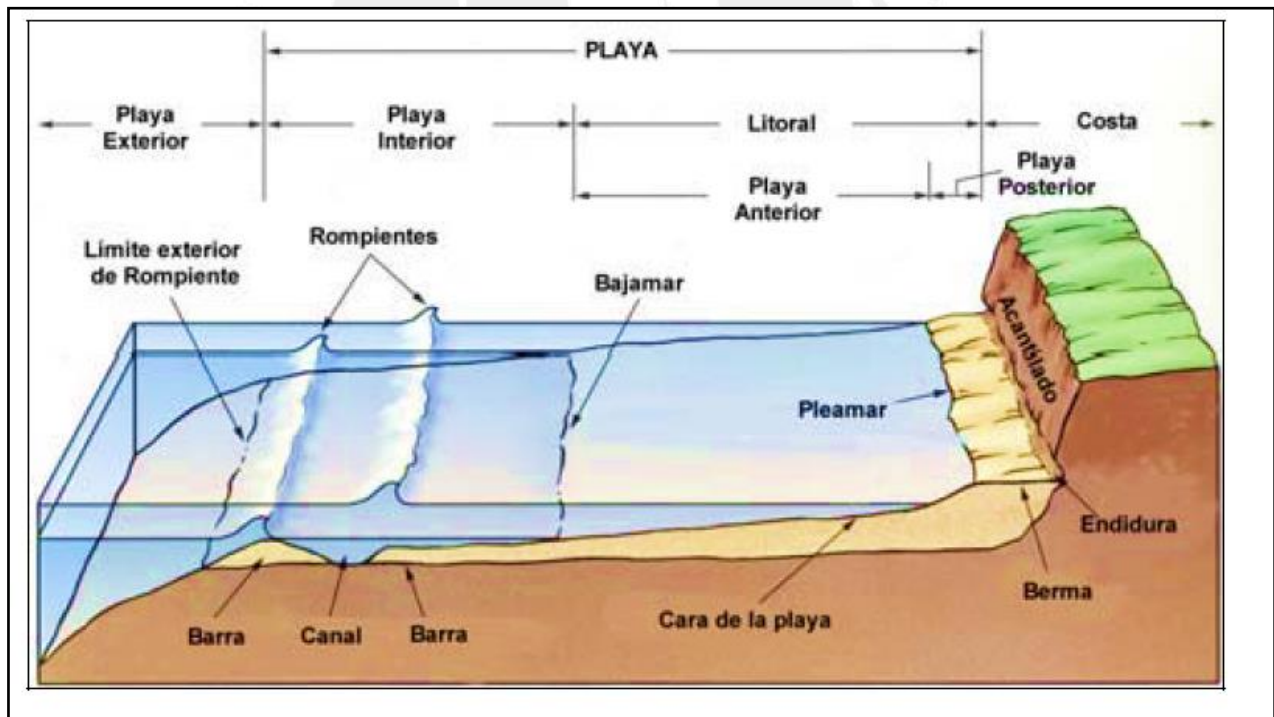


Figura 3. Unidades de la morfología de la playa.

Fuente: (Leceta, 2009).

La primera unidad es conocida como la playa exterior (offshore) que comienza en el borde de la plataforma continental y va hasta la zona de rompientes (breaker zone). Anexa, se

encuentra la playa interior (nearshore), la que se extiende desde la zona de rompientes hasta la línea de bajamar. Dentro de esta puede encontrarse zonas de rompiente secundarias y la zona de disipación de la ola (surf zone). La playa anterior (foreshore) se localiza entre la bajamar hasta la pleamar, siendo la parte más inclinada y ubicándose dentro de ella la zona de flujo (swash) y reflujo (backwash) de las olas, que ascienden y descienden sobre la playa anterior. Detrás de esta última, la topografía se vuelve abruptamente más suave y da inicio a la playa posterior (backshore). La playa posterior se inicia con la berma, forma similar a una terraza suavemente inclinada hacia el interior. En la playa posterior también puede incluirse dunas litorales, cordones litorales, humedades o acantilados.

Desde un punto de vista morfodinámico Short y Wright (1983), clasifican las playas como disipativas, intermedias y reflectivas. Cada categoría depende de las condiciones ambientales, las dinámicas y el tamaño de las partículas de sedimento y de la erosión, y la variabilidad espacial y temporal.

Las playas disipativas se caracterizan por encontrarse en ambientes de abundantes arenas finas y presencia de rompientes en derrame. Tienden a tener pendientes suaves, una amplia playa interior y es común encontrar que cuentan con una o más barras paralelas a la línea de costa. Su dinámica muestra olas rompiendo en la zona de rompiente (*Breaker*), disipándose lentamente sobre la amplia playa anterior. Tienden a ser playas estables, mientras que sus condiciones normales no se vean afectadas.

Las playas intermedias son etapas transitorias entre las playas disipativas y las reflectivas. El sedimento tiende a ser de tamaño medio, y se localiza en forma de barras paralelas a la línea de costa que se mueven según la energía de las olas que se presentan sobre la playa. Con mayor energía el sedimento se encuentra en la zona de *Surf*, mientras que con una baja energía de las olas los sedimentos, en barras, se encuentran expuestos en la bajamar. Las playas intermedias se subdividen en 4 tipos: barra y canal longitudinal, barra y playa rítmica, barra transversa y corrientes de retorno y sistema barra-canal.

Las playas reflectivas son producidas por olas de baja energía, en áreas donde los sedimentos tienden a ser más gruesos (arenas gruesas a sedimentos de mayor tamaño). Las olas rompen en ondula o colapso formando bermas elevadas con fuertes pendientes. Se encuentra en la mayoría de casos la presencia de cúspides. Se trata del tipo de playa más inestable, y donde se produce una importante erosión cuando hay un incremento en la altura de la ola.

2.4 Procesos geodinámicos costeros

Los procesos geodinámicos que se dan en el litoral responden a varios factores que intervienen en el modelado de este. Parte importante de estos procesos son producidos por el constante movimiento de las ondas y mareas, especialmente las playas que están conformadas por sedimentos no consolidados. Conduce a que existan corrientes paralelas y perpendiculares a la costa, como procesos de erosión (remoción de los sedimentos) y sedimentación (deposición de sedimentos). El movimiento de las olas produce que los sedimentos sean movilizados hacia y desde la playa. La ruptura de la ola le permite liberar energía con lo que esta puede ascender por la playa. El regreso hacia el mar se da por gravedad, por lo que el agua sigue el camino más eficiente, creando canales perpendiculares a la costa que llegan hasta la barra en la zona de rompiente. Se conoce como corriente de retorno y es afectada por el tamaño del material que es transportado en ella (Leceta, 2009). La dirección de la ola al acercarse a la playa (*swash*) determinará también la dirección de los sedimentos, por tanto, si las ola se acerca con una dirección oblicua hacia la costa, los sedimentos también lo harán (Nonn, 1987). Sin embargo, el regreso del material se da de forma perpendicular a la costa, dando un movimiento en zig-zag y produciendo una corriente paralela a la línea de costa, conocida como deriva litoral (Sparks, 1960).

La erosión costera puede ser un proceso lento que ocurre a través de muchos años o, puede darse rápidamente, por ejemplo, después de una tormenta. En cualquiera de los casos, implica un gran peligro para la infraestructura costera, y por lo tanto, para la población (Dean y Dalrymple, 2001).

La erosión puede ser producida, en parte, por los efectos de la energía de la ola chocando contra la costa y, también, debido a la acción del material cargado por las olas (Sparks, 1960). La playa, por tanto, puede ser vista como un sistema ya que recibe material a través de la sedimentación (*inputs*) y pierde material a través de la erosión (*output*).

Lewis (1931) propone dos tipos de olas que tendrán diferentes efectos sobre este sistema. Las olas destructivas son caracterizadas por tener una alta frecuencia (13-15 olas por minuto), un fuerte *backwash* y un débil *swash*, retirando sedimentos de la playa e impidiendo la deposición, lo que produce erosión sobre la costa. En este caso el *output* será mayor que el *input*. Por el otro lado, están las olas constructivas, las cuales cuentan con una baja frecuencia (6 - 8 olas por minuto) y un *swash* con mayor fuerza que el *backwash*, generando una deposición del sedimento sobre la playa. De tal manera que el *input* es mayor que el *output* en el sistema playa.

Una de las teorías principales para explicar los procesos de erosión y deposición en la zona costera es el Perfil de Equilibrio (Dean et al., 2013). La teoría explica el funcionamiento de los perfiles de playa a través del balance de las fuerzas constructivas (*shoreward acting*) y las fuerzas destructivas (*seaward acting*) sobre las partículas de sedimento (Figura 4). Las olas y la marea sobre la costa moldean el perfil de la playa, pero debido a que estas fuerzas se encuentran en constante variación, el perfil se verá modificado constantemente. Por tal motivo, se puede considerar que el perfil de equilibrio es el promedio de todos los perfiles generados en un largo periodo de tiempo, mientras que las características de las olas y mareas se mantengan dentro de parámetros normales. “Un perfil de equilibrio representa un balance de fuerzas constructivas y destructivas actuando sobre la playa” (Dean & Dalrymple, 2001, 164), si cualquiera de estas fuerzas es alterada, se produce un desbalance. Dentro de esta condición hay una fuerza dominante que modifica el perfil de la playa, generando erosión o deposición.



Figura 4. Fuerzas que actúan sobre el perfil de equilibrio.

Fuente: Adaptado de (Dean & Dalrymple, Coastal Processes with Engineering Applications, 2001)

La gravedad es la fuerza destructiva más importante pues es la causante que el agua regrese hacia el mar, arrastrando consigo los sedimentos. La segunda fuerza destructiva es la turbulencia del mar en la zona de disipación de las olas. Ambas fuerzas actúan sobre las partículas de sedimento al romperse las olas, transformando la energía de la ola en una turbulencia caótica que desaloja las partículas de sedimento, transportándolas hacia la playa exterior. La fuerza de la turbulencia está relacionada a los tipos de perfil de playa; los perfiles con pendientes suaves están caracterizados por bajos niveles de turbulencia, puesto que el rompimiento de la ola se distribuye por una amplia zona de disipación de la ola. Los perfiles con pronunciada pendiente tienen mayores niveles de turbulencia: la energía de la ola se disipa en un área muy pequeña, por lo que la magnitud de la turbulencia es mayor y penetra mucha más en la columna de agua.

Las fuerzas constructivas tienen efecto sobre el movimiento de las partículas y su

deposición, y son dependientes de la fuerza y velocidad de la ola. Estas fuerzas incluyen una corriente cercana al suelo (*streaming current*) y suspensión intermitente de los sedimentos, que permite que el sedimento suspendido en la cresta durante el rompimiento de la ola sea disipado hacia la costa. Se establece que si el tiempo de deposición del sedimento es menor a medio periodo de ola, el transporte se dará hacia la pleamar, mientras que si el tiempo de deposición es mayor a medio periodo de ola, pero menor a un periodo de ola, el transporte se dará hacia la playa exterior.

Estas fuerzas opuestas, generan dentro de los diferentes niveles del agua y las olas, un estado de equilibrio. Cualquier perturbación sobre estas generará un desequilibrio, resultando en un cambio del perfil de la playa.

Una de las principales críticas a esta teoría es que se trata de un acercamiento bidimensional a la playa, por lo que omite muchos de los procesos que se dan de forma paralela a la línea de costa. Sin embargo, las soluciones posteriores a la erosión de una zona costera son poco efectivas y generan altos costos. Por tal motivo, el entendimiento de los perfiles costeros son necesarios para conocer e interpretar los procesos naturales de las playas, con el fin de prevenir que esto ocurra (Dean y Dalrymple, 2001).

2.5 Elevación del nivel del mar

La elevación del nivel del mar (ENV) puede referirse al aumento relativo del nivel del mar (RSL por sus siglas en inglés), que considera la altura de la superficie del océano en un lugar determinado con respecto a la superficie de la Tierra sólida. También, puede ser calculado como el nivel del mar geocéntrico, que considera la referencia geocéntrica del planeta para medir la elevación. Estas metodologías consideran calcular el nivel medio del mar (MSL, por sus siglas en inglés) como un promedio temporal del nivel del mar, para evitar considerar periodos de variabilidad cortos. RSL es una mejor medida cuando se considera los impactos costeros del cambio en el nivel del mar (Church, et al., 2013).

A nivel local, cualquier cambio vertical del mar o de la superficie terrestre puede causar un aumento relativo del nivel del mar. Existen cambios locales que se dan en cortos periodos de tiempo, incluyendo la influencia de las mareas o la variabilidad climática como el ENSO, o eventos esporádicos como los tsunamis. En periodos más largos (décadas a siglos) la influencia del cambio climático es el principal factor que afecta el cambio en el nivel de los océanos (Church, et al., 2013).

Las dos principales contribuciones, en el siglo XX, para la elevación promedio global del nivel del mar son la expansión térmica de la capa superior de los océanos y el

desterramiento de glaciares, siendo ambas responsables por el 75 % de la elevación. Se espera que el nivel del mar continúe aumentando por siglos, incluso si la emisión de GEI son reducidos y las concentraciones atmosféricas estabilizadas. Por tal razón, es esencial que las poblaciones costeras se adapten para que se reduzcan significativamente los impactos del incremento del nivel del mar (Church, et al., 2010).

Los efectos de la elevación del nivel del mar y su influencia sobre el perfil de playa, fueron descritos por Brunn en 1962, tanto para un aumento relativo (RSL) o absoluto (MSL). Brunn describe la relación entre el incremento en el nivel del mar (S) y el retroceso de la línea de costa (R) a través de la siguiente fórmula:

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

Donde W representa el ancho del perfil y h , la profundidad del mismo. Mientras que B es la altura de la berma (Dean et al., 2013). La regla de Brunn describe tres etapas del ajuste de un perfil, iniciando por un desplazamiento hacia la costa una distancia de R , dando un volumen de sedimento positivo ($V+$). Como segunda etapa, se considera el incremento del nivel del mar (S), lo que implica un vacío de los sedimentos ($V-$), elevando el perfil costero en todo lo largo. Finalmente, se iguala ambos pasos anteriores ($V+$ y $V-$) generando la elevación y movimiento hacia la costa del perfil de playa (Figura 5). Es importante notar que si bien se genera un retroceso de la línea de costa, no hay una pérdida del volumen total de arena en el perfil. La arena, simplemente, es desplazada de la zona superior del perfil a la zona inferior.

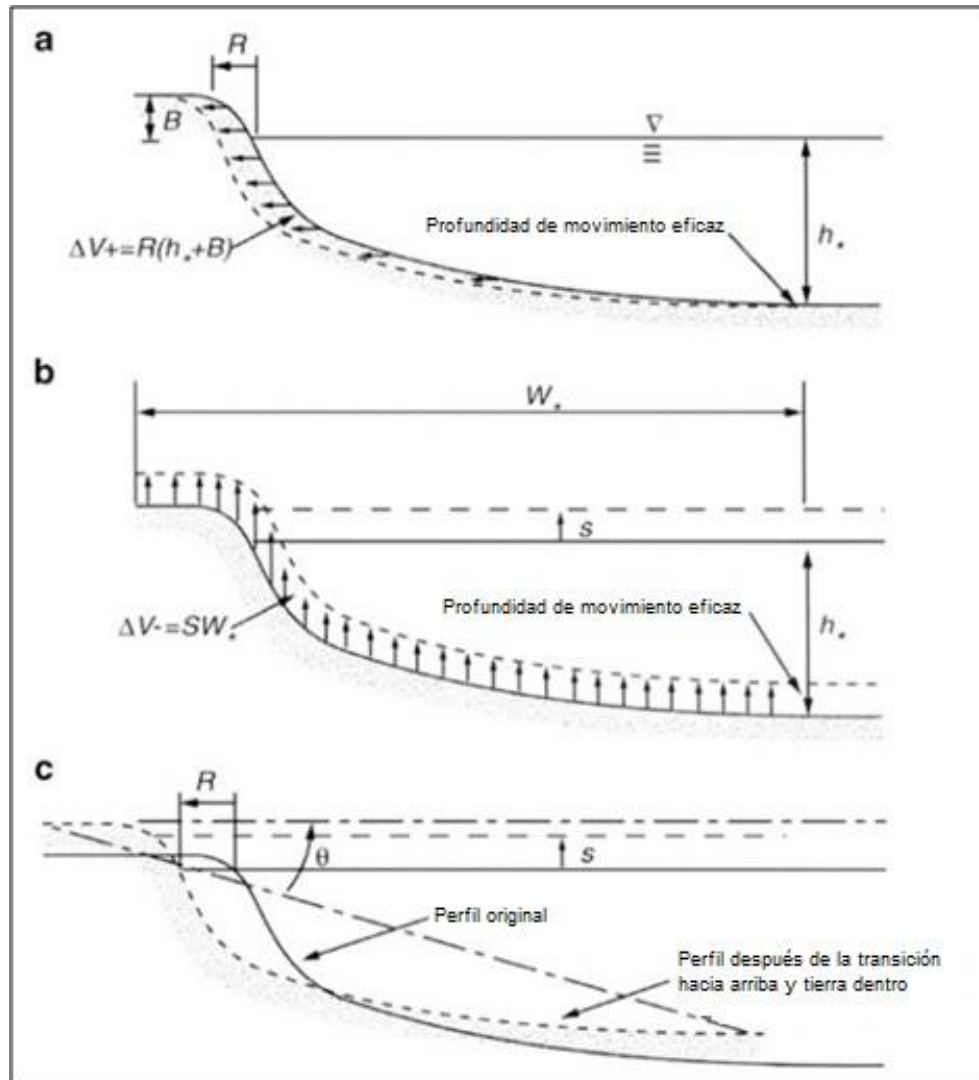


Figura 5. Etapas de la regla de Bruun.
Modificado de (Dean et al., 2013)

En la práctica la regla de Bruun no siempre funciona, pues se ve afectada por las variabilidades locales. No obstante, es el único método en la actualidad que permite desarrollar estimados del retroceso de la línea de costa, como producto de los escenarios futuros de incremento del nivel del mar (Dean et al., 2013).

2.6 Variación de la línea de costa

Como se ha señalado anteriormente, la línea de costa es la representación del encuentro entre la tierra y el mar. Sin embargo, es una medida que debe tomarse con cautela puesto que el límite no es estable y se encuentra en constante movimiento. Es necesario entender la línea de costa según la escala de tiempo en la cual se hace la investigación

(Boak y Turner, 2005). La variación se refiere al cambio de la posición de la línea de costa en el tiempo.

Esta variación está estrechamente relacionada al concepto de célula litoral, como la unidad básica para entender las fuentes, transporte, pérdidas y acumulación de los sedimentos que afectan la posición de la línea de costa. En una célula litoral típica el sedimento proviene de una sección donde el suministro es mínimo o está restringido. Al ingresar a la célula es transportado a lo largo de la costa bajo la influencia de la corriente principal, la cual a su vez depende de los vientos predominantes. Luego de este transporte, los sedimentos salen del sistema a través de un cañón submarino, un sistema de dunas, o en algunos casos por la extracción de arena por parte de los humanos. Idealmente, cada célula litoral existe como un sistema independiente, sin haber casi ningún transporte de sedimentos entre distintas células (Patsch y Griggs, 2007).

El balance de la célula litoral (*litoral cell budget*) explica el concepto de conservación del volumen de sedimentos dentro de la célula litoral, a través de los sedimentos que entran, salen o son mantenidos dentro de la zona. El cambio en el volumen total depende de la diferencia entre el sedimento que es transportada hacia o desde el área de almacenamiento causado por la deriva litoral, los sedimentos que ingresan al sistema desde fuentes terrestres (descargas de los ríos, erosión de acantilados, etc.), los sedimentos que son extraídos (por el crecimiento de dunas, movimientos en altamar hacia la plataforma continental o por cañones submarinos), y los que son incorporados o extraídos artificialmente (por actividades humanas) (Patsch y Griggs, 2007). Un esquema que describe este proceso se observa en la Figura 6.

La acumulación de sedimentos (ΔV_s) de la célula litoral puede ser calculado a partir de la siguiente fórmula (Dean y Dalrymple, 2001):

$$\Delta V_s = V_{x_1} - V_{x_2} + V_{y_1} - V_{y_2} + /-S$$

Donde,

V_{x_1} = volumen de sedimentos transportados hacia el área de estudio a lo largo de la costa.

V_{x_2} = volumen de sedimentos transportados fuera del área de estudio a lo largo de la costa.

V_{y_1} = volumen de sedimentos transportados hacia el área de estudios desde la costa.

V_{y_2} = volumen de sedimentos transportados hacia el mar fuera del área de estudio.

S = volumen de sedimentos agregados o extraídos del área de estudio.

A partir del resultado de esta ecuación se generará un cambio en el total de la célula litoral o en ciertos segmentos de ella. La variación de la línea de costa está directamente relacionada al volumen de sedimentos que entra comparado con el volumen que sedimentos que sale del sistema (Patsch y Griggs, 2007).

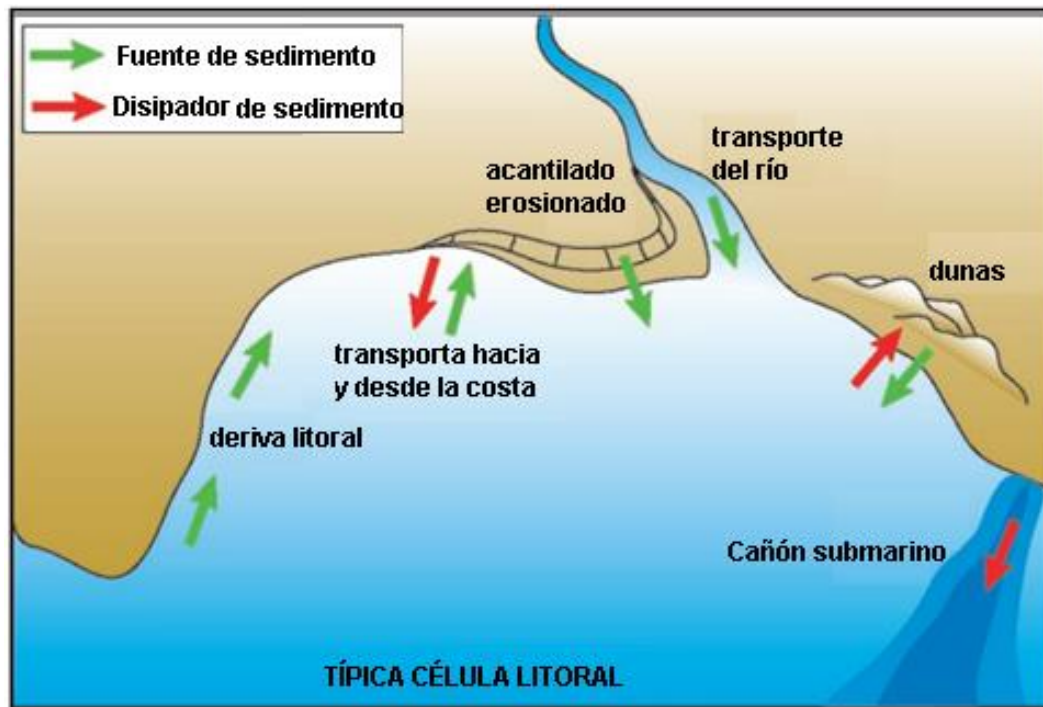


Figura 6. Esquema de una típica célula litoral y sus componentes.
Adaptado de (Patsch & Griggs, 2007)

La variación de la línea de costa se da debido a una diversidad de factores, que afectan tanto de manera global, como de manera local. En términos globales, esta variabilidad se debe a la variación eustática del nivel del mar, considerando los cambios en el volumen y variación de las cuencas oceánicas y la variación del volumen de agua en los océanos y en el geode. Sin embargo, por la naturaleza de la investigación, se debe considerar las razones que afectan la evolución costera a mediano plazo (años, décadas) para encontrar las principales tendencias que afectan la variación de la línea de costa (Domínguez, Gracia, y Anfuso, 2004).

Como se mencionó anteriormente, el balance del volumen de sedimentos dentro de la célula litoral será la principal causa del movimiento de la línea costera. Por tanto, una reducción de la cantidad de sedimentos que llega a una zona de la célula litoral, implica que la playa se angoste, generando una erosión y un retroceso de la línea de costa. Por el contrario, un aumento en el volumen implicaría normalmente una ampliación de la playa por una mayor deposición de sedimentos. Esto implica un avance de la línea de costa

hacia el mar. Al mantenerse un balance entre las fuentes y los sumideros de sedimentos, se genera una estabilidad donde no hay un cambio con respecto al ancho de la playa o una variación de la línea de costa.

El balance de sedimentos en la playa depende de otros procesos naturales, como la variación en la dinámica de las olas, el incremento del nivel del mar, entre otros. En especial debe tomarse en cuenta las mareas, puesto que representan parte importante de la dinámica natural de cambio que afecta la línea de costa. Las mareas son movimientos periódicos de aumento (marea alta) o descenso (marea baja) del mar causado por la fuerza gravitacional de la luna y el sol sobre el planeta. El ciclo lunar produce mareas semi-diurnas, mientras que el ciclo solar conduce a mareas diurnas (Bird, 2008). Sin embargo, el balance natural de los procesos costeros es afectado muchas veces por las actividades humanas, amplificando o acelerándolos (Manca, et al., 2013).

Debido a este contante cambio que sufren las líneas de costa, para conocer si existe un retroceso (debido a erosión), un avance (por deposición de sedimentos) o ninguna variación entre los años estudiados, es necesario tomar en cuenta indicadores que permitan conocer los procesos que se vienen llevando a cabo. Existen, según Boak y Turner (2005) dos tipos de indicadores, los primeros basados en puntos referenciales en la costa que son fácilmente reconocibles y pueden ser localizados a simple vista, como el límite entre la arena húmeda y seca o la línea de marea alta. El segundo tipo de indicadores describe la posición de la línea costera basado en las posiciones de las mareas, las cuales son medidas por la intersección entre una elevación específica del mar y el perfil de la costa. Un indicador del segundo grupo comúnmente utilizados es la elevación promedio del nivel del mar.

2.7 Empleo del SIG en la cuantificación de las variaciones de la línea de costa

El empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para el estudio de variaciones de las líneas de costa, ha sido muy utilizadas en diversos trabajos, y permiten a través de la cartografía digital interpretar los cambios temporales que se llevan a cabo debido a procesos de erosión, deposición, cambios en el nivel relativo del mar, entre otros. Los SIG se han vuelto una importante herramienta para la investigación y generación de políticas costeras. Existen diferentes metodologías para cuantificar la variación de la línea de costa a través del tiempo que varían en la forma de aproximación al problema y la precisión de los resultados (Thieler y Danforth, 1994a). Una de las metodologías más reconocidas, la

cual busca reducir y cuantificar la exactitud de los resultados en la digitalización de la línea costera, es el Digital Shoreline Analysis System (DSAS por sus siglas en inglés).

El DSAS fue desarrollado para calcular cambios en la posición de las líneas de costa en una serie temporal y utilizando Sistemas de Información Geográficos (SIG). La primera versión DSAS v1.0 utiliza el script UNIX C-shell, y emplea un enfoque de medición de la línea base para calcular las tasas de cambio en las líneas de costa (Thieler y Danforth, 1994b). Se generaron nuevas versiones del DSAS, siendo la más actual la versión 4.3, el cual es una extensión de software ArcGIS 10 de ESRI. Esta versión genera un proceso más automatizado, donde se producen intersecciones de las líneas de costas históricas, en una distancia elegida por el usuario, para conocer las tasas de cambio entre ellas (Thieler, Williams, y Hammar-Klose, 2009b).

Existen diversos ejemplos de estudios donde se emplea los SIG en la cuantificación de la variación de las líneas de costa. En espacios turísticos costeros de la Riviera Maya se hizo un análisis utilizando tanto fotografías aéreas (escala 1:50 000) como imágenes satelitales (Ikonos, resolución de 4m) para la reconstrucción de las líneas de costa. El material cartográfico fue georeferenciado según la proyección Universal Transversa Mercator, definido por el datum geodésico WGS84, utilizando el SIG ArcGIS 9.2 y el software para procesamiento digital de imágenes (PDI) Ermapper 7.1. A partir de las líneas de costas construidas se cuantificaron los procesos de erosión y deposición, calculando el desplazamiento anual promedio en 5 zonas dentro del área de estudio (Márquez et al., 2010).

En el Perú se han generado algunos de estos estudios, como es el caso de la localidad de Salaverry, región La Libertad, donde se realizó un estudio del impacto de los espigones construidos alrededor del Puerto de Salaverry. Se utilizó la metodología de Duffy y Dickson (1995) para realizar las comparaciones de las líneas de costas digitalizadas desde mapas y fotos aéreas (León y Tavares, 2005). Recientemente, Tavares y Drenkham (2010), emplearon la metodología de DSAS para realizar un estudio espacio-temporal de cuatro zonas litorales (Puémape-Puerto Chicama, La Chira-Lurín, Salaverry-Las Delicias y Bahía de Miraflores) afectadas en distintas medidas por la ocupación humana. Asimismo, Leceta (2009), Grández (2010) y Rondón (2011) también utilizaron la metodología DSAS para la cuantificación de la variación entre líneas de costas de diversos años correspondientes a las zonas de la Bahía de Miraflores, Chorrillos, en Lima, y Bahía de Paita en Piura. Se tomó como información base las cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y fotografías aéreas, que fueron georeferenciadas y

ortocorregidas a través del software ArcGIS 9.2, para luego ser analizadas a través del DSAS.

2.8 Vulnerabilidad

El riesgo al que se enfrenta un área o población determinada, se establece a partir del peligro o amenaza existente y al grado de vulnerabilidad que construye la población. Esto quiere decir que el riesgo es un “conjunto de daños y pérdidas que podrían producirse en una unidad social y sus medios de vida, como consecuencia del impacto de uno o varios peligros sobre las condiciones de vulnerabilidad que presenta dicha unidad social” (Zilbert y Romero, 2012). Por tal razón, la vulnerabilidad no puede ser entendida fuera de este contexto pues es pieza clave en el análisis de riesgo. Estos estudios, además, son parte fundamental para los “...planes de gestión de riesgo, planes de desarrollo, planes de OT, proyectos de inversión, etc.” (Zilbert y Romero, 2012), los cuales están basados en la Ley 29664, que establece la creación del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) y que decreta que la estimación del riesgo es el primer paso para la gestión del riesgo (Congreso de la República, 2011).

El peligro se entiende como la “...probabilidad de ocurrencia de un evento natural o inducido por el ser humano, potencialmente dañino, en un periodo específico y en una localidad o área determinada” (Zilbert y Romero, 2012). Por tanto, es necesario identificar y analizar los peligros, pues permite conocer su origen, ubicación, comportamiento, nivel de magnitud, y la probabilidad y frecuencia con la que ocurren. Es a partir de esta información que se puede revelar el impacto que generan sobre una población. El peligro se divide en tres categorías: naturales, socioculturales y antrópicos (Zilbert & Romero, 2012).

La vulnerabilidad puede ser definida como el “grado de susceptibilidad de una comunidad humana a las amenazas naturales” (Vega y Vega, 2005,). El ser humano es capaz de adaptarse a su medio, lo que implica un incremento o una disminución de la vulnerabilidad de los lugares donde reside, o en general en cualquier lugar donde tenga influencia sobre su medio. Por tal motivo, el concepto de vulnerabilidad explica la “capacidad o incapacidad de una unidad social para anticiparse, resistir y recuperarse de los efectos adversos causados por el peligro” (Zilbert y Romero, 2012). El concepto cuenta con dos elementos que deben ser identificados para realizar un análisis de la vulnerabilidad. Primero se debe identificar la “exposición ante el peligro”, que se refiere a la localización de seres humanos dentro del área donde el peligro impacta. Luego, la fragilidad o

resiliencia ante el peligro, que determina si el nivel de resistencia y protección ante el peligro es inadecuada o si se cuenta con las condiciones para "...asimilar los impactos, adaptarse al cambio, afrontar la situación y recuperarse de los impactos de un peligro" (Zilbert y Romero, 2012).

Se debe considerar que la vulnerabilidad cuenta con dimensiones espaciales y temporales, por lo que se encuentra en constante cambio, generando distintos riesgos (Kok et al., 2009). Consecuentemente, determinar el grado de vulnerabilidad es una tarea muy compleja, puesto que se deben considerar un gran número de elementos, tanto físicos como socio-económicos que están en constante cambio. Se puede simplificar esta tarea al definir a la vulnerabilidad a través de la siguiente ecuación (Jiménez et al., 2009):

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

El impacto será producido por los fenómenos naturales, que en el caso de las zonas marino-costeras serán los procesos litorales. La capacidad de adaptación se da en función de las características del sistema y del estilo de vida de la población local (Jiménez et al., 2009).

Como se observa, la vulnerabilidad es un concepto multidimensional, que incorpora un amplio rango de factores biogeofísicos, socio-económicos, institucionales y culturales. Por lo que es necesario tener un enfoque trans-disciplinario para poder identificar los indicadores apropiados para su estudio (Torresan et al., 2008).

2.9 Vulnerabilidad en zonas costeras

La vulnerabilidad en zonas costeras se refiere al impacto producido por los procesos litorales que se dan dentro de las zonas marino-costeras. La capacidad de adaptación se dará dependiendo de las características de la célula litoral y la forma de vida que lleva la población local. Por ende, las zonas costeras son de extrema importancia, puesto que contienen ecosistemas integrales e interdependientes, tanto marinos como continentales, que deben convivir con grandes poblaciones humanas (Consortio costero para el desarrollo sostenible, 2003). No obstante, se encuentran sujetas a una serie de factores de estrés social y ambiental, que han resultado en la pérdida, degradación y sobreexplotación de hábitats. Las principales causas son el desarrollo y urbanización en las zonas costeras, las tormentas, los procesos naturales como la erosión y la deposición, la contaminación, las especies invasoras, las practicas pesqueras destructivas y no sostenibles, las actividades recreacionales, entre otras (NOAA, 2010).

La Agenda 21, en su capítulo 17 propone que es necesaria la “protección de los océanos y de los mares de todo tipo, incluidos los mares cerrados y semicerrados, y de las zonas costeras, y protección, utilización racional y desarrollo de sus recursos vivos” (Naciones Unidas, 1992). Se debe lograr esto a partir de una serie de propuestas, que incluyan la elaboración de sistemas de observación e investigación, que permitan prevenir la erosión y sedimentación costera como resultado de factores antropogénicos “relacionados, entre otras cosas, con las técnicas y prácticas de uso de la tierra y de construcción” (Naciones Unidas, 1992). La erosión costera es uno de los principales problemas que enfrentan las costas en la actualidad, puesto que tiene implicancias ambientales y tiene influencia sobre cientos de kilómetros del litoral. El problema de la erosión implica efectos socio-económicos a nivel local, afectando los asentamientos humanos costeros, la industria turística y el desarrollo a nivel regional, debido a pérdidas económicas significantes y daños ecológicos (Aiello et al., 2013).

2.10 Vulnerabilidad en zonas costeras y cambio climático

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Bindoff, et al., 2007), el cambio climático puede ser definido de la siguiente manera:

“Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras”.

El último reporte del IPCC propone que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde 1950 muchos de los cambios observados no tienen precedentes en décadas o milenios. Una de las consecuencias del calentamiento global es el incremento del nivel del mar, el cual ya se ha incrementado en un promedio global de 0,19 m. entre 1901 y 2010 (Church et al., 2013).

Es de gran importancia incluir el cambio climático en los estudios de vulnerabilidad costera, puesto que sus efectos tendrán importantes consecuencias sobre las zonas litorales. El incremento del nivel del mar, tendrá como resultado un retroceso de las líneas de costa que no cuenten con protección (Ranasinghe & Stive, 2009), exacerbando los peligros a los que se enfrentan las zonas costeras. Por tal motivo, al emplear un enfoque de gestión de riesgos es necesario incorporar los riesgos generados por el cambio climático para que estos sean manejados adecuadamente a futuro (Department of

Primary Industries and Water, 2009).

2.11 Índice de Vulnerabilidad Costera

La medición de las vulnerabilidades en los litorales, tiende a ser muy conceptuales y basarse en métodos cualitativos. Se debe, en gran medida, a que la medición de esta requiere de un gran número de variables que pueden influenciar en la construcción de riesgos de una población. Según Boruff et al., (2005), los Índices de Vulnerabilidad son importantes puesto que permiten la comparación espacial de la vulnerabilidad, utilizando un único valor derivado de una multiplicidad de características de la realidad. Estos índices conducen a un mejor conocimiento de los diferentes sectores de la costa, permitiendo entender cuáles son los espacios más vulnerables y cuáles son las principales características que producen estas situaciones. Son, por tanto, de mucha ayuda para el diseño de políticas de mitigación local, ya que permiten reconocer si las vulnerabilidades son, principalmente, socio-económicas o físicas.

El concepto de Índices de Vulnerabilidad para las costas fue introducido por Gornitz en 1990 (Duriyapong y Nakhapakorn, 2011), teniendo como objetivo evaluar el riesgo del aumento del nivel de mar en la costa Este de Estados Unidos. En los últimos años se ha dado una proliferación de índices de vulnerabilidad costera para el estudio de áreas marino-costeras específicas. Este incremento puede ser explicado de múltiples formas, pero algunas de las razones más importantes son el aumento del uso de SIG y la intensificación de uso y desarrollo en el litoral (McLaughlin et al., 2002).

Uno de los índices de vulnerabilidad costera más conocido es el *Coastal Vulnerability Index* (CVI), el cual fue elaborado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Fue realizado como parte de un proyecto que buscaba evaluar la vulnerabilidad de las costas estadounidenses frente a la elevación del nivel del mar. Tenía como objetivo, el desarrollo y la aplicación de una metodología simple y objetiva que permitiese identificar las áreas costeras en mayor grado de riesgo (Thieler et al., 2009b). El índice solo toma en cuenta los elementos físico-naturales de la zona costera para el cálculo de su vulnerabilidad. Otro índice de vulnerabilidad costera fue realizado por Palmer et al. (2011), para la costa de KwaZulu-Natal, Sudáfrica. KwaZulu-Natal es una zona turística muy popular y de mucha importancia económicamente para el país, por lo que se buscó conocer el riesgo creado por el crecimiento poblacional y de infraestructuras y el cambio climático. Los resultados fueron obtenidos a través de métodos de teledetección e incorporaron factores físicos, sociales, económicos y

ecológicos. De igual manera, se han realizado índices de vulnerabilidad costeras aplicados en el litoral Jónico en Italia (Aiello et al., 2013), en el sudeste Australiano (Abuodha y Wooddroffe, 2010), en las Filipinas zona de Baler (Orencio y Fujii, 2012) y la costa este de Rio de Janeiro en Brasil (Morales y Muehe, 2011). Cada uno cuenta con particularidades, sin embargo, todos se basan en una combinación sistemática de indicadores para el análisis de la vulnerabilidad.

Una de las limitantes más comunes en los Índices de Vulnerabilidad Costera es que se basan solo en las características físicas, con poca inclusión de los aspectos económicos y ecológicos (Palmer, et al., 2011). Al no incorporar variables humanas, los Índices realizan una evaluación incompleta, que no toma en cuenta la capacidad de adaptación de la población establecida dando resultados que no necesariamente responden a la realidad. No obstante, esta limitación responde a una dificultad inherente de clasificación de las variables socio-económicas, como también a la rapidez con la que cambia esta información en el tiempo (McLaughlin et al., 2002).

Existen, también, índices y estudios de vulnerabilidad costera enfocados en el efecto del cambio climático sobre zonas litorales. Según Torresan et al. (2008), los principales indicadores propuestos por distintos autores para la medición de la vulnerabilidad relacionada al cambio climático y el incremento del nivel del mar son seis: personas afectadas, personas en riesgo, pérdida del valor del capital, área de suelo perdido, los costos de protección y adaptación, y la pérdida de humedales. Esto se ha visto representado en *A Common Methodology for Assessing Vulnerability to Sea-Level Rise* (CZMS, 1992).

3 ÁREA DE ESTUDIO

Para este trabajo se comparará el Índice de Vulnerabilidad Costera propuesto para tres áreas de estudio (AE) del litoral limeño. Dos de ellas cuentan con estudios previos sobre la variabilidad de la línea de costa, realizados por Leceta (2009) y Grández (2010), correspondientes a la Bahía de Miraflores y la zona costera del distrito de Chorrillos al sur del Morro Solar, respectivamente. El Balneario de Asia, será también incluida en esta investigación, al ser una zona con un importante desarrollo económico y poblacional, aunque no se han encontrado estudios previos respecto a la dinámica litoral. Se ha elegido estas tres AE ya que comparten las características de ser zonas litorales que fueron o son considerados balnearios, y que se encuentran dentro de la Región Lima. Las AE serán referidas según la clasificación que se muestra en la Tabla 3.

No. del área de estudio	Descripción del área de estudio
AE1	Balneario de Asia
AE2	Bahía de Miraflores (incluyendo los distritos de San Isidro, Miraflores, Barranco y Chorrillos hasta el Morro Solar)
AE3	Chorrillos (incluyendo La Chira, Villa, La Encantada, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona)

**Tabla 3. Áreas de estudio consideradas en la investigación.
Elaboración propia.**

3.1 AE1: Balneario de Asia

3.1.1 Localización

El AE1 se localiza en el distrito de Asia, en la Provincia de Cañete en la zona sur de la Región Lima (Ver Figura 7). Se ubica a 100 km al sur de la capital nacional, Lima, y al norte del valle de Cañete. Es parte de los 16 distritos que comprenden la Provincia de Cañete, localizándose en el centro de esta y limitando en el Norte con el distrito de Mala, en el Sur con los distritos de Quimaná y Cerro Azul, y en el Este con Coayllo. Está marginado por el Océano Pacífico en el oeste, y se encuentra entre los paralelos 12°45'00" y 12°25'30" Sur y 76°37'30" y 76°30'00" Oeste. El distrito comprende un total de 277,36 km² y se encuentra a un promedio de 45 msnm.

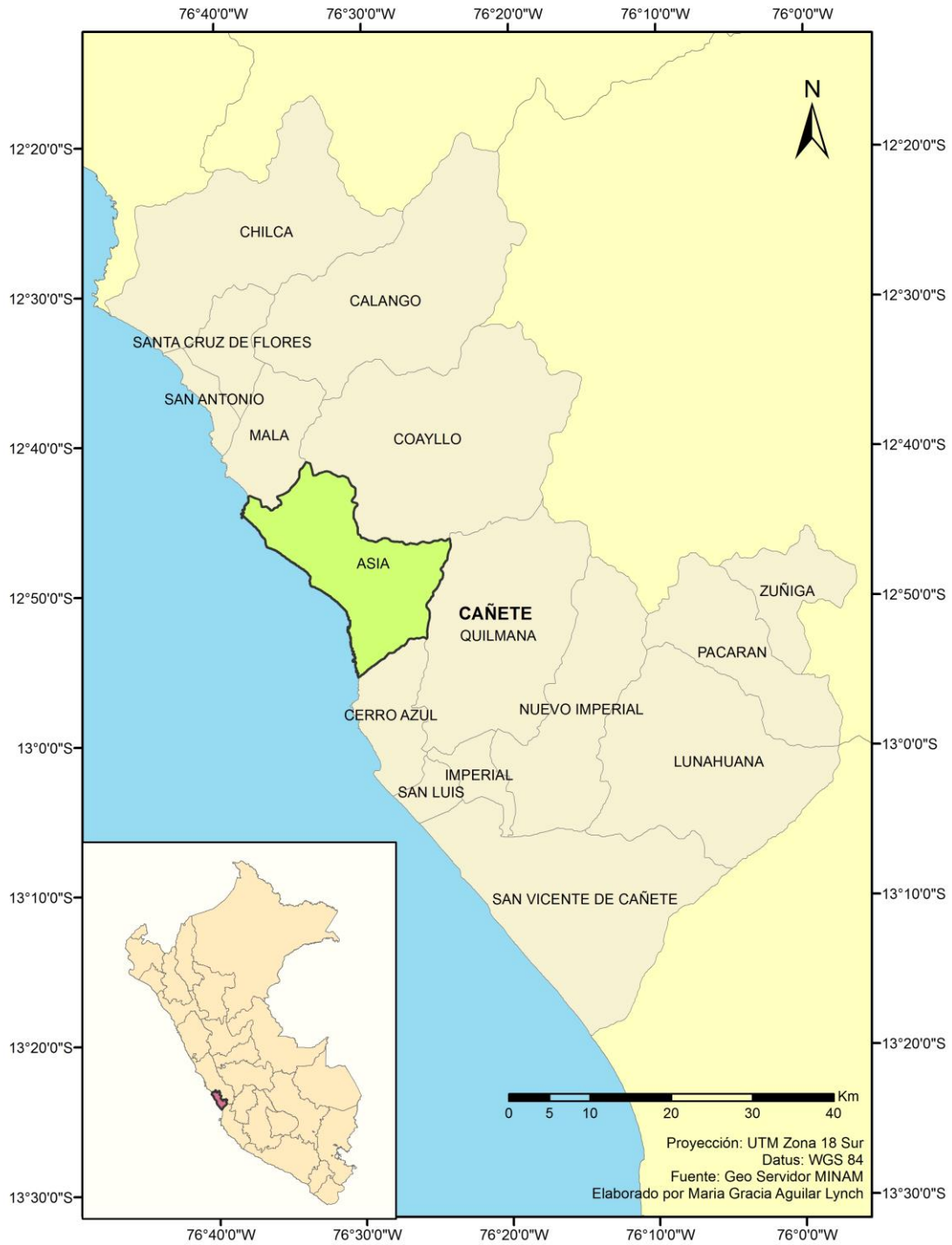


Figura 7. Ubicación de la Provincia de Cañete y del distrito de Asia dentro del departamento de Lima.
Fuente: MINAM. Elaboración propia.

3.1.2 Delimitación del área de estudio

El área que será estudiada es parte de la zona litoral del distrito de Asia, y se encuentra delimitada por dos puntas que forman entre ellas una célula litoral. Las puntas cuentan con las siguientes coordenadas mostradas en la Tabla 4 y han sido consideradas los límites de la célula litoral que se observa en la Figura 8.

No.	Punta	Coordenadas
1	Punta 1	12°44'28.74"S 76°38'8.88"O
2	Punta 2	12°49'11.46"S 76°33'32.63"O

**Tabla 4. Coordenadas de las puntas que delimitan el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Fuente: Google Earth. Elaboración propia.**

El área de estudio se delimita también entre la línea de costa y la carretera Panamericana Sur, tomándola como referencia por su fácil identificación. En el mapa (Figura 8), es reconocida como una vía nacional, debido a que cruza todo el país de norte a sur. Esta es la vía de acceso que se usa principalmente para llegar al área de estudio. Existen vías sin asfaltar distritales que permiten el ingreso hacia las playas.

La playa de Asia es un cordón arenoso continuo que ha sido subdividido, según la forma de ocupación y no por accidentes geográficos. La ocupación se divide en clubes con nombres específicos que se localizan según su ubicación relativa a la carretera Panamericana (Figura 9). Los clubes no son reconocidos como centros poblados, puesto que son espacios privados utilizados como segundas residencias. Además, muchos han sido construidos recientemente, siendo inexistentes cuando se llevó a cabo la "Estadística de Centros Poblados 1993" (INEI, 1993b).

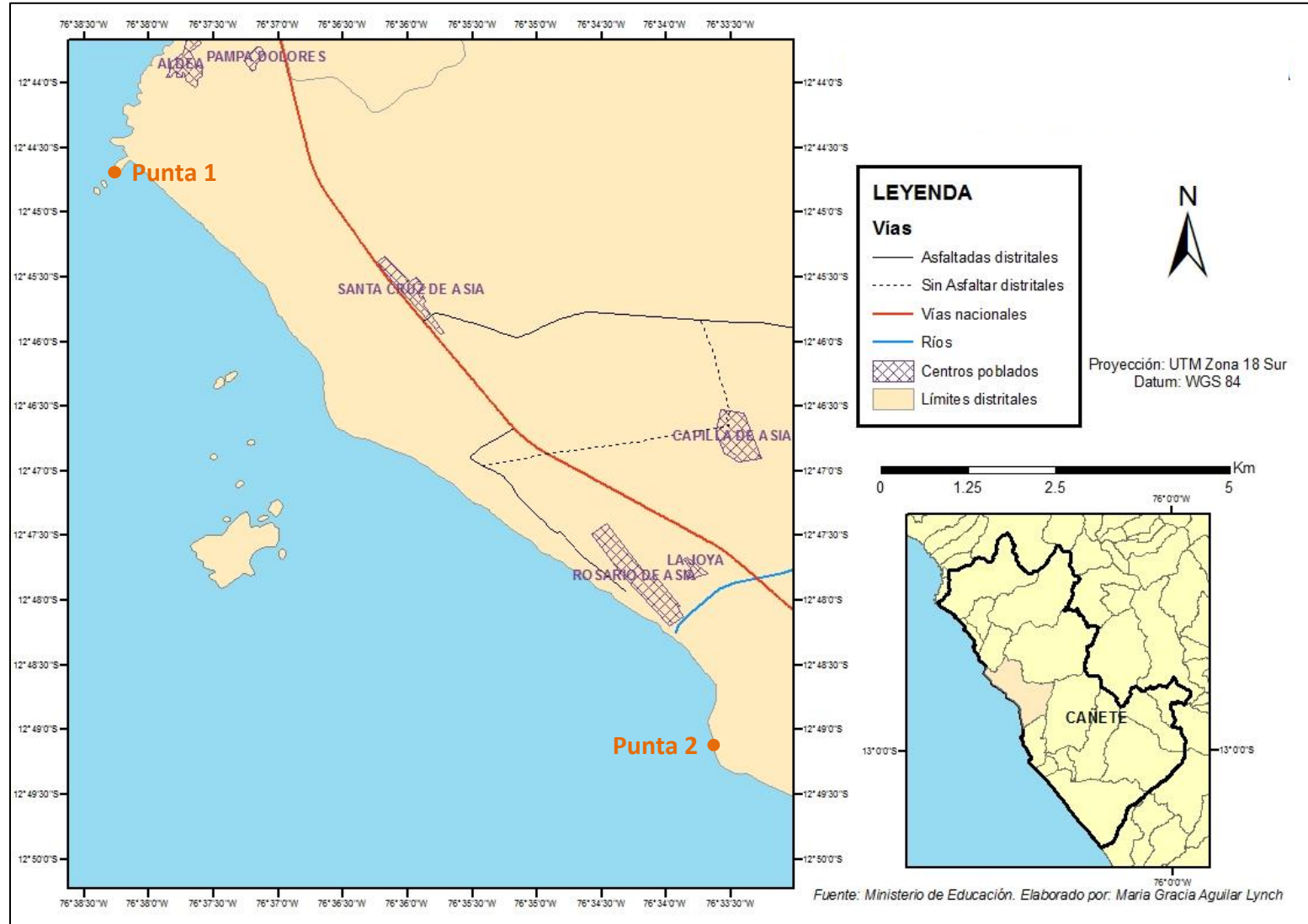




Figura 9. Mapa de ubicación de los clubes que conforman el área de estudio 1 (Balneario de Asia). Fuente: (Proislas, s.f.)

La localización del distrito muestra que se trata de un espacio fuertemente relacionado con el océano, puesto que cuenta con una importante línea de costa. Si bien se ubica en la provincia de Cañete, existe una corta distancia con Lima Metropolitana, lo que conlleva a que esta tenga una fuerte influencia sobre el distrito.

3.1.3 Características climáticas

El clima en Asia presenta las características típicas de una ciudad de la costa central peruana, siendo calurosa durante los meses de verano y teniendo presencia de neblinas durante los meses de invierno (INDECI-PNUD, 2003). El SENAMHI (s.f.), utiliza la clasificación de Thornthwite para calificar al área de estudio como un espacio “árido, semicálido y húmedo, con deficiencias de lluvias en todas las estaciones” (codificación E(d) B’1 H3), como se observa en la Figura 10.

La temperatura anual promedio está en entre los 20 y 24 °C. Durante los meses de verano (enero-abril) las temperaturas oscilan entre los 27 y 30°C, llegando a las máximas en el mes de febrero (temperaturas máximas y mínimas para febrero: 29 y 20 °C respectivamente). Los meses de invierno presentan temperaturas entre los 14 y 21°C, llegando a las más bajas durante agosto (temperaturas máximas y mínimas para agosto: 15 y 14 °C respectivamente) (SENAMHI, s.f.). El clima de la zona de estudio se encuentra muy ligado al océano, puesto que las temperaturas del aire “se ven condicionadas por las Temperaturas Superficiales del agua del Mar (TSM)...” (SENAMHI, s.f., 128), entre otros factores.



Figura 10. Mapa del departamento de Lima según la clasificación de Thornthwite.
Fuente: (SENAMHI, s.f.)

Debido a que el área de estudio se encuentra clasificada como de clima árido, presenta muy bajas precipitaciones, presentando lloviznas ligeras entre los meses de abril y diciembre. En la provincia de Cañete, el mes de mayor precipitación promedio es julio, teniendo tan solo 4 l/m² (SENAMHI, s.f.). Los meses de invierno también constituyen el tiempo de mayor presencia de neblinas originadas por la inversión térmica creada por las TSM. Esto conduce a una alta humedad promedio relativa de 70 % (INDECI-PNUD, 2003).

3.1.4 Características geológicas y geomorfológicas a escala general

En términos generales, el área de estudio se ubica en la costa central peruana, que está conformada principalmente por el Batolito de la Costa y se localiza en la zona móvil del borde occidental de la placa Sudamericana. Por tanto, se trata de un área sísmica puesto que se encuentra sobre la zona de subducción de la placa tectónica de Nazca de bajo de la Sudamericana.

Originalmente, lo que hoy se conoce como el distrito de Asia, fue una gran cuenca sedimentaria “constituida por un conglomerado semi consolidado de cantos rodados y sub - redondeados de composición variable pertenecientes a la formación Cañete” (INDECI-PNUD, 2003). En la actualidad, el cuaternario de la costa central del Perú es conformado por varios tipos de depósitos aluviales (eólicos, fluviales, marinos y pluviales) (Sebrier y Macharé, 1980). Se da, sin embargo, tres episodios mayores de acumulación fluvial, durante el cuaternario, creando cuatro tipos de terrazas fluviales a lo largo de la costa. Una de estas es la que se observa en la quebrada de Asia. Se trata de una quebrada intermitente, que responde a lluvias ocasionales características del desierto. Se observan 4 niveles de acumulación aluviales encajonadas entre el pueblo de Asia y Pasamayito. La estratificación es grosera, por la irregularidad de los flujos en la zona. La primera y segunda terrazas cuentan con cantos subangulosos intercalados con arenas y limos, estando la segunda dos metros por encima de la primera. La tercera terraza, está tres metros sobre la segunda y está conformada por el mismo material, pero con una mayor proporción de arenas. La cuarta terraza se encuentra cuarenta metros por encima de la anterior, y se conforma de cantos rodados de 10 - 50 cm de diámetro intercalado con arena limosa (Sebrier y Macharé, 1980) (Ver Figura 11).

Geomorfológicamente, el INDECI-PNUD (2003), denomina la zona de estudio como parte de la unidad geomorfológica “pampas costeras”. Se trata de una franja litoral, delimitada en el oeste por la línea de costa y en el este por cerros con altitudes promedio de 250 m. Estos cerros son las primeras muestras de la Cordillera de los Andes, y corren de forma paralela a esta. Las superficies son planas en su mayoría, con “ligeras inclinaciones hacia el oeste” (INDECI-PNUD, 2003, 20). La zona se caracteriza por presentar terrazas aluviales de antiguos conos de deyección provenientes del río Cañete. También se presentan depósitos eólicos que cubren las denominadas pampas, formando dunas o mantos de arena (INDECI-PNUD, 2003).

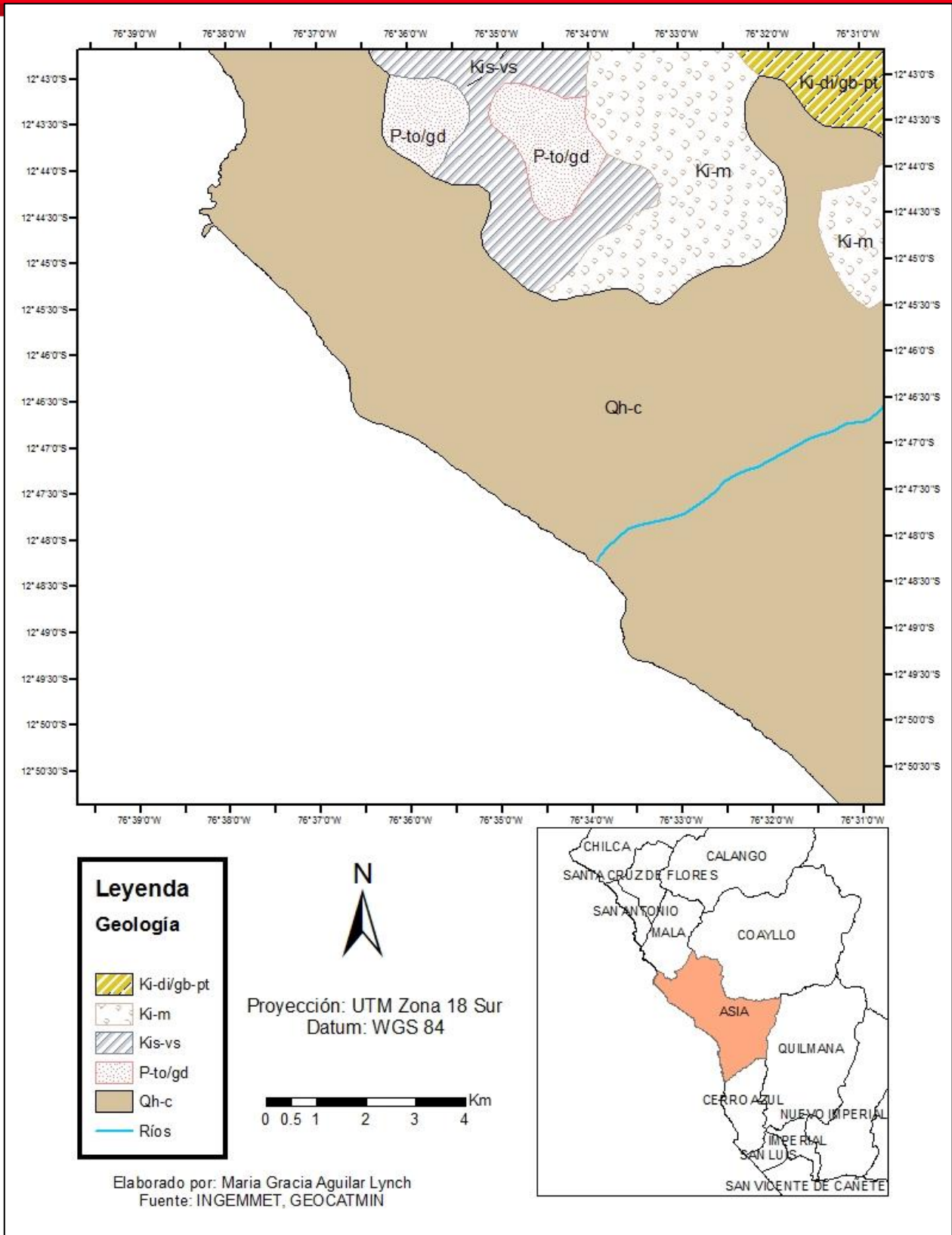


Figura 11. Mapa geológico de la zona del área de estudio (Balneario de Asia). Donde se establece: Q h-c – cuaternario holoceno-continental / Kis-vs – Cretáceo superior inferior volcánico-sedimentario / Ki-m – Cretáceo inferior-marino / P-to/gd – Tonalitas y granodioritas paleogenas / Ki-di/gb-pt – Superunidad Patap. Fuente: INGEMMET. Elaboración propia.

3.1.5 Características de seguridad física

Según el proyecto de Ciudades Sostenibles, realizado por INDECI y PNUD (2003), los fenómenos naturales que se constituyen como un peligro para el distrito de Asia son los siguientes:

Sismos

Asia se enfrenta a estos riesgos como consecuencia de su ubicación en la costa peruana, que se sitúa sobre el proceso de subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. La zona cuenta con una alta frecuencia de sismos, ligados al Cinturón de Fuego del Pacífico. Desde 1926, la zona se ha visto afectada por 13 sismos con una magnitud mayor a los 6,6 grados en la Escala de Mercalli modificada. El sismo mayor intensidad que ha afectado la zona en registros recientes se llevó a cabo en el 2001, con una magnitud de 8.4 grados (INDECI-PNUD, 2003).

Tsunamis

Los tsunamis también se presentan como un peligro de inundaciones, “especialmente en sus balnearios que en la actualidad son los más visitados del sur del país” (INDECI-PNUD, 2003, 38). El relieve plano conduce a que los centros poblados del distrito se encuentren frente a esta amenaza. Normalmente se trata de tsunamis generados por terremotos con epicentro en la costa o mar peruano como en otras regiones.

La costa centro y sur del Perú presentan un mayor riesgo de verse afectados por un tsunami, al encontrarse más cerca de las fosa que se ubica entre el Callao y Valdivia, Chile. Si bien no se cuenta con un registro de un tsunami que haya afectado directamente a las playas de Asia, se trata de una zona sujeta a este tipo de peligros al encontrarse dentro de la faja de la costa centro y sur del Perú (INDECI-PNUD, 2003).

Inundaciones

Al encontrarse en la parte baja de la cuenca del río Asia, el distrito se puede ver afectado por inundaciones por desborde del río. El río Asia, solo se encuentra encauzado con diques semi-compactos en dos tramos (alrededor de 1 000 km). No obstante, no se encuentra registro de inundaciones por desborde del río en la zona de estudio. Se han observado eventos extraordinarios que afectan la zona agrícola, más no la urbana (INDECI-PNUD, 2003).

3.1.6 Características socio-económicas

El distrito de Asia cuenta, según el censo del 2007, con un total de 6 618 habitantes. La población se ha doblado desde 1993, cuando había un total de 3 466 personas viviendo en el distrito (INEI, 1993a) (INEI, 2007). Esto puede observarse en la Figura 12. La tasa de crecimiento poblacional es de 1,34% (para el periodo 1999-2000), pero se encuentra actualmente en disminución (INDECI-PNUD, 2003, 40) (Ver Figura 13). En términos de la densidad poblacional de Asia, hubo para 1993 un promedio de 4,7 personas por vivienda construida (INDECI-PNUD, 2003). En el 2007, el total en el número de casas y de personas dentro del distrito incremento a 4 946 viviendas y 6 618 habitantes respectivamente. Esto implica que la tendencia es a una disminución

de la densidad dentro del distrito, siendo en el 2007 de 1,3 personas por vivienda construida (INEI, 2007). Es interesante notar también que del total de viviendas en el distrito contabilizadas durante el censo, el 60 % se encontraba “Ocupada, con personas ausentes” (INEI, 2007), según la condición de ocupación de la vivienda (Ver Figura 14).

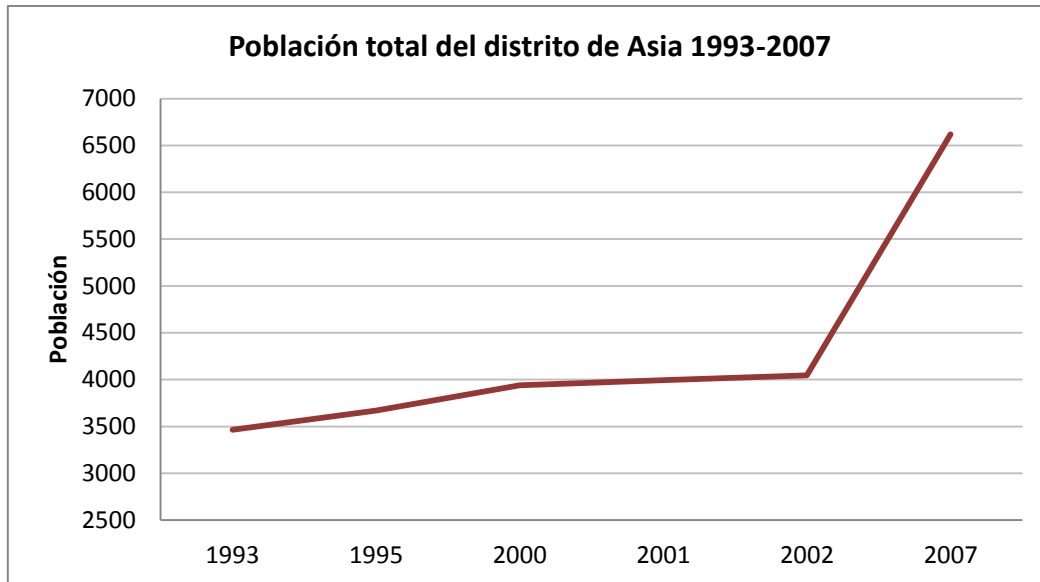


Figura 12. Población total del distrito de Asia, entre los años 1993 y 2002.
Fuente: (INDECI-PNUD, 2003) (INEI, 2007). Elaboración propia.

El material predominante de las paredes de las viviendas edificadas dentro del distrito es el adobe (60,24 %), mientras que para los techos lo más usado es la caña o estera (74,22 %). Mejores materiales como el ladrillo o bloques de cemento para las paredes (27,82 %) y concreto para el techo (2,44 %) se utilizan en menores proporciones (INDECI-PNUD, 2003). Esto demuestra que existe una alta vulnerabilidad en términos de la adaptación de la población a su medio.

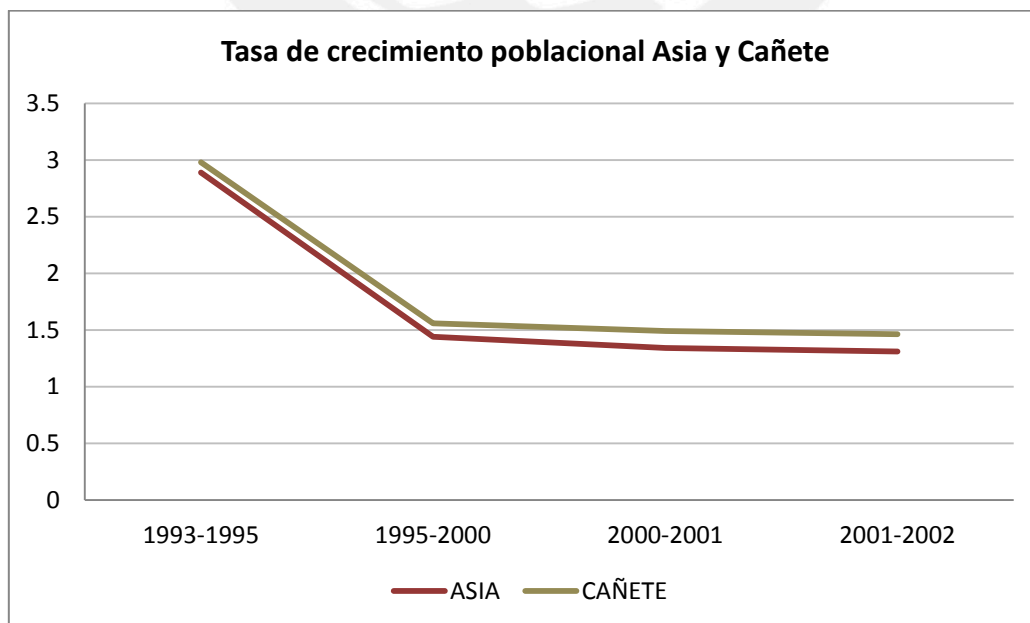


Figura 13. Tasa de crecimiento poblacional para el distrito de Asia y la Provincia de Cañete, entre los años 1993-2001.
Fuente: (INDECI-PNUD, 2003) (INEI, 2007). Elaboración propia.

Una de las actividades económicas tradicionales de la zona litoral era la pesca artesanal, siendo frecuente “hace unos veinte años... el uso de balsas de totora” (Ángeles y Pozzi, 2004). La zona baja del valle acoge actividades agrícolas, para las cuales se utiliza agua del subsuelo a través de pozos, debido a que el río Asia solo trae agua esporádicamente en los meses de verano (Ángeles y Pozzi, 2004). Actualmente gran parte de la población trabaja dentro del balneario de Asia en servicios o dentro del área de construcción.

La mitad de la población del distrito (55,55 %) no cuenta con ningún tipo de seguro de salud, lo que implica una falta de seguridad médica para mucha gente que reside todo el año en Asia. El resto de la población si cuenta con algún tipo de seguro, principalmente ESSALUD (25,94 %) o el SIS (11,53 %) (INEI, 2007).

En términos de educación, el 44,17 % (2 730 personas) del distrito completaron la secundaria, mientras que el 31,1% solo llegaron al nivel primario. Alrededor de 10% cuenta solo con educación inicial o sin nivel (Ángeles y Pozzi, 2004). Sin embargo, en comparación con la provincia, el distrito de Asia tiene un menor porcentaje de analfabetismo en la población censada de 5 años a más, teniendo un 9,11 % frente a 10,05 %. Además, los alumnos matriculados en alguna institución para el año 2001, llegó a ser de 1 136, lo cual representa el 2,03 % dentro de la provincia de Cañete. Este mismo año se contó con un profesor por cada 34 alumnos para el nivel inicial, 26 alumnos en el nivel primario y 16 en el nivel secundario (INDECI-PNUD, 2003). Los bajos niveles de calidad de vida son más evidentes cuando se habla de necesidades básicas insatisfechas (NBI). El 49,1 %, casi la mitad de quienes habitan en Asia, cuenta con por lo menos una NBI. Existe un 9 y 23 % que tienen cuatro y tres NBI respectivamente (Mesa de Concertación, 2005).

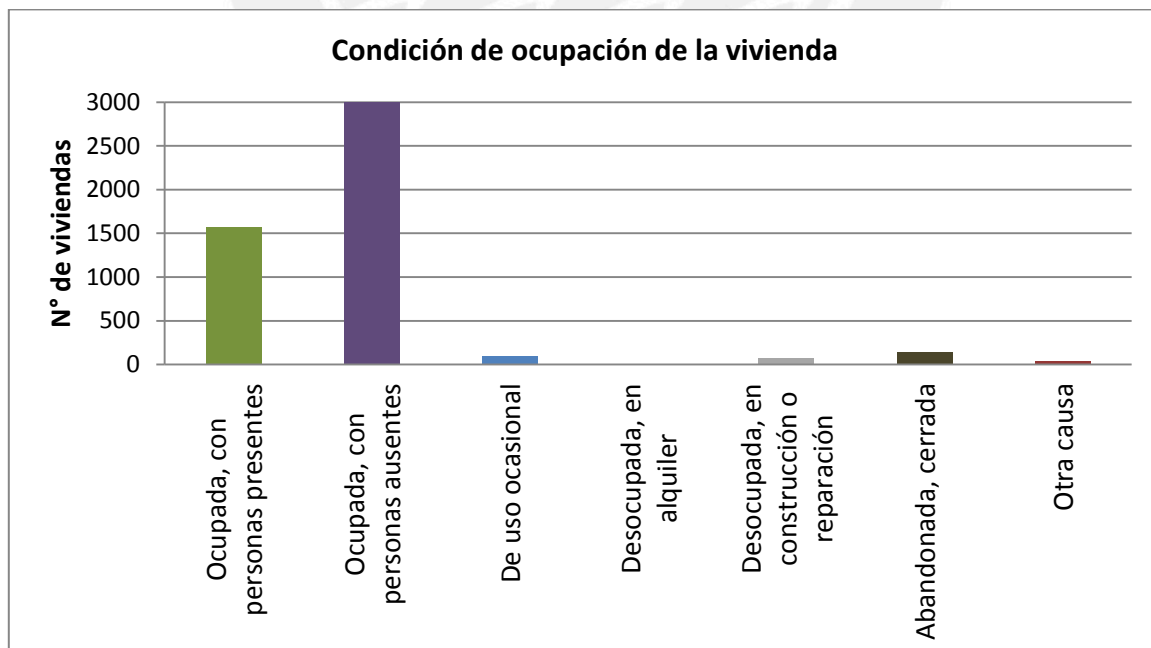


Figura 14. Número de viviendas según la condición de ocupación.
Fuente: (INEI, 2007). Elaboración propia.

Durante los meses de verano (enero-abril) se da una gran migración estacionaria hacia el distrito, proveniente principalmente de Lima Metropolitana. El número de habitantes dentro del distrito llega a ser alrededor de unas 10 000 personas, quienes se concentran principalmente durante los fines de semana. La migración estacionaria de esta inmensa cantidad de población ha resultado en un acelerado procesos de urbanización en esta zona del distrito. Este comenzó durante la década del 70 del Siglo XX con dos pequeñas urbanizaciones, Las Palmas y Cocos, que continúan hasta la actualidad. Sin embargo, el crecimiento inmobiliario se ha incrementado durante la última década, traspasando los límites del distrito y llegando a otros distritos contiguos como San Antonio, Mala y Cerro Azul. Ludeña (2011, 85) afirma que, “si bien este espacio de la ciudad fue siempre objeto de intervenciones urbanísticas, la envergadura de la inversión en juego y la naturaleza de los proyectos resulta algo sin antecedentes en la historia urbana de Lima”. Solo en los últimos 5 años, se han construido 1 137 casas de playa en 48 playas de esta zona litoral (Asia Perú, 2012). Más de la mitad de las viviendas son segundas residencias, habitadas solo parte del año, y construidas dentro de clubes exclusivos, que permiten, únicamente, el ingreso de residentes e invitados.

El nivel de vida de la población que reside dentro del distrito, durante todo el año, es bajo, como se muestra en los indicadores presentados anteriormente. Esto se ve reforzado si se compara con el nivel de vida que llevan los veraneantes del distrito. Sin embargo, no existen datos de la población turística o estacionaria, por lo que comparación se puede basar solo en observaciones.

3.2 AE2: Bahía de Miraflores

3.2.1 Localización

El AE2 es la Bahía de Miraflores representa el margen oeste de Lima Metropolitana y parte del Callao. La bahía comprende los distritos de Chorrillos, Barranco, Miraflores, San Isidro, Magdalena, San Miguel, La Perla y La Punta. Se trata de una franja costera de aproximadamente 32.5 km de longitud, y que comúnmente se le conoce como Costa Verde (Leceta, 2009). La Figura 15 muestra la ubicación del AE2.

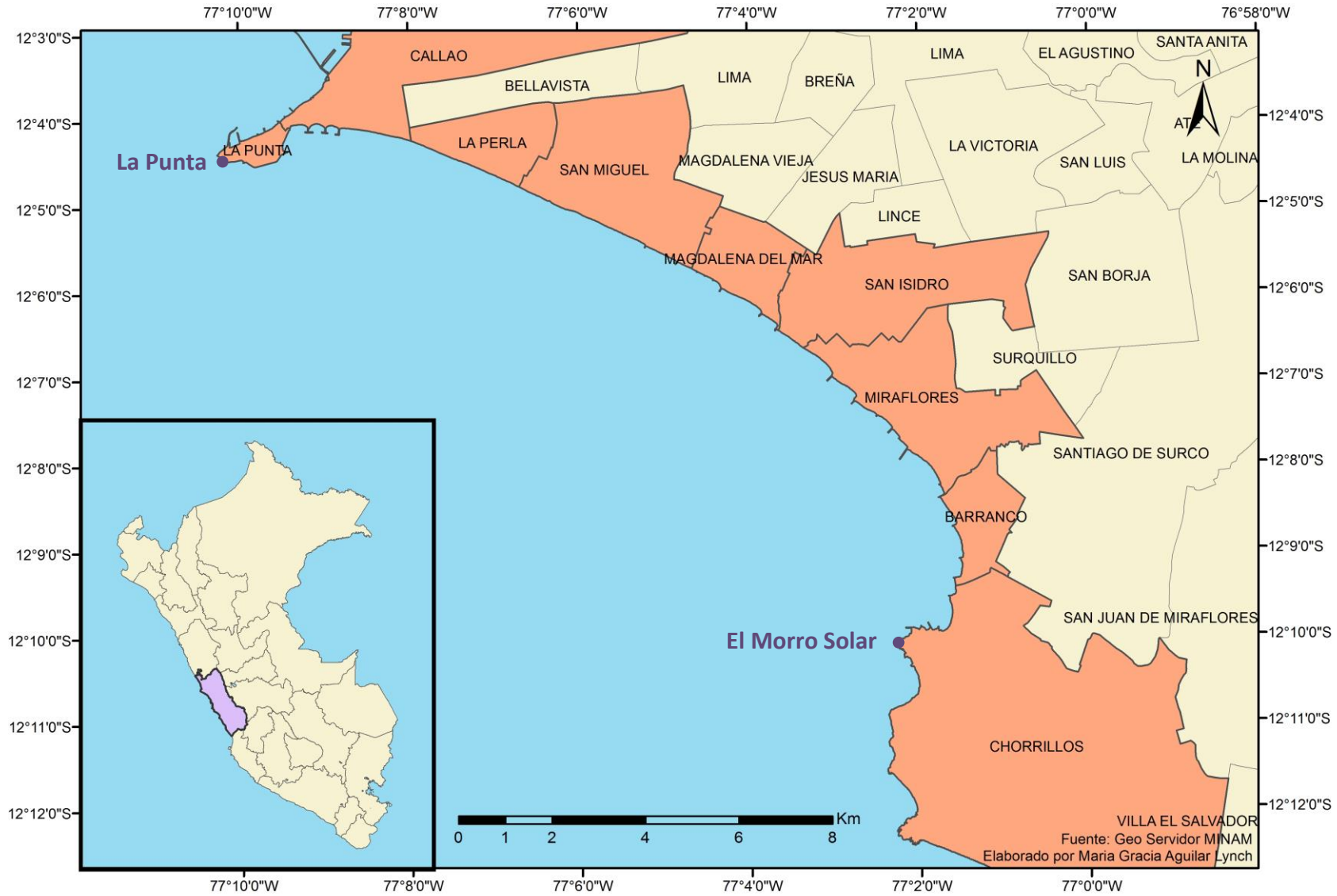


Figura 15. Ubicación de los distritos que conforman la Bahía de Miraflores, Provincia de Lima, Región Lima.
Fuente: MINAM. Elaboración propia.

3.2.2 Delimitación del área de estudio

La Bahía de Miraflores se encuentra delimitada por dos puntas que representan una célula litoral, entre La Punta y el Morro Solar en Chorrillos. La ubicación de cada una de las puntas se observa a continuación (Tabla 5):

No.	Punta	Coordenadas
1	La Punta (Callao)	12°04'28.13"S 77°10'03.21"O
2	El Morro Solar (Chorrillos, Lima)	12°10'12.54"S 77°02'10.56"O

Tabla 5. Coordenadas de las puntas que delimitan el área de estudio 2 (Bahía de Miraflores).
Fuente: Google Earth. Elaboración propia.

Debido a que el Índice propuesto para esta investigación es para la Región de Lima, solo hemos considerado los distritos que se encuentran dentro de esta región. No obstante, la delimitación política del Callao no implica un cambio en la dinámica litoral ya que como se mencionó anteriormente la Bahía de Miraflores constituye una célula litoral.

3.2.3 Características climáticas

El área Metropolitana que comprende a Lima y Callao se clasifica bajo Thornthwaite como un desierto subtropical árido o desierto desecado subtropical (codificación dd-S), mientras que Koeppen describe un clima seco y árido (Leceta, 2009). Esta permanente aridez es consecuencia del efecto que tiene el Anticiclón del Océano Pacífico Suroriental, la Cordillera de los Andes y la Corriente de Humboldt, sobre esta zona. Esta aridez implica una precipitación de media mensual baja, de 10 mm/año cerca de la costa. Su temperatura media en el verano oscila entre los 20,2 y los 25,8 °C en las zonas costera, y los 19,8 a 28,2 °C hacia el este. En el invierno, la zona costera cuenta con una temperatura media de entre 15,5 y 18,3 °C en la zona costera y 13,1 y 18,6 °C hacia el este (Silva y Montoya, 2006).

Otra de las características de mayor notoriedad en el AE2 son las neblinas, debido al fenómeno de inversión térmica, generado por la "...subsistencia de masas de aire del Anticiclón del Pacífico Sur Oriental, que se forma durante todo el año en los niveles bajos de la troposfera de la costa" (Silva y Montoya, 2006). Es más notorio durante los meses de invierno, donde el fenómeno se da a mayor altitud, espesor e intensidad.

3.2.4 Características geológicas y geomorfológicas

Lima se ubica sobre la convergencia de las Placas de Nazca y la Sudamericana, donde la segunda se introduce por debajo de la primera, en el proceso conocido como subducción. La Bahía de Miraflores, más específicamente, está ubicada "en una zona transicional de la plataforma continental que emerge del mar, caracterizada por bloques rocosos fallados (Morro Solar, Islas Frontón y San Lorenzo) y bloques hundidos, rellenos por las acumulaciones del río Rímac" (Leceta, 2009). Debido al proceso de subducción que se genera en esta zona, la plataforma

continental se fractura, hundiéndose en bloques. Las áreas que se mantuvieron sin descender generaron formas como el Morro Solar, o las islas San Lorenzo y El Frontón (Le Roux, Tavares, & Alayza, 2000). Por tal motivo, la geomorfología de Lima Metropolitana “se encuentra rodeada por colinas y montañas, con laderas de pendiente moderada a fuerte” (Nuñez & Vásquez, 2009) y cortado por tres ríos Lurín, Rímac y Chillón, así como por otras quebradas menores. La desembocadura de estos ríos que baja de las colinas y montañas forman conos y terrazas aluviales extensas donde se ha situado la ciudad de Lima (Nuñez & Vásquez, 2009). Este abanico aluvial se inclina ligeramente hacia el mar terminando como acantilados entre Chorrillos y Magdalena del Mar. Tanto la zona norte del Callao, como al sur las pendientes son más suaves (Le Roux et al, 2000) (Figura 16).

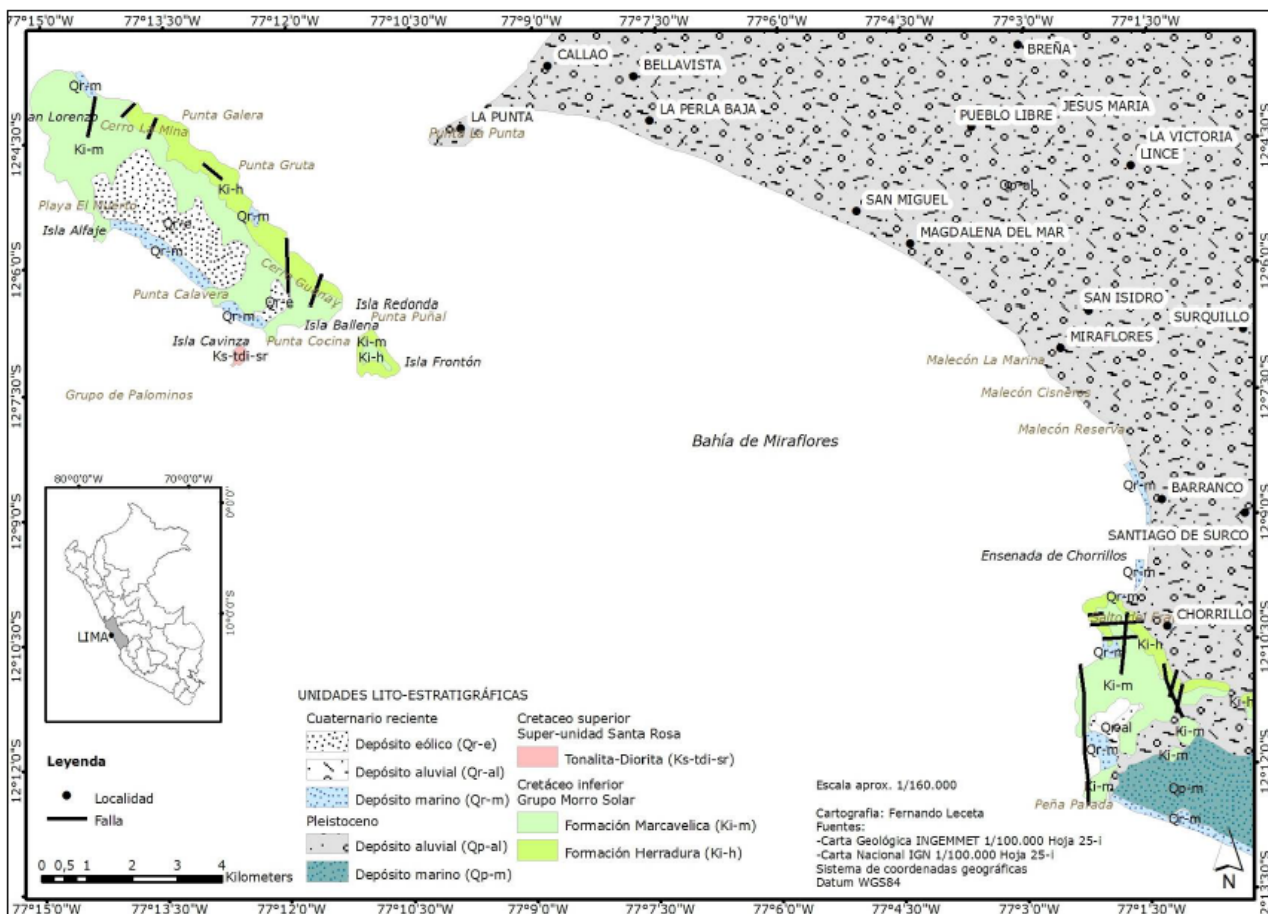


Figura 16. Mapa geológico de la Bahía de Miraflores.
 Fuente: (Leceta, 2009)

El acantilado delimita gran parte de la Bahía de Miraflores, con una caída casi vertical de unos 40 a 50 msnm. Este se va reduciendo en los extremos, desapareciendo en la playa Conchán, al sur, y reduciéndose a unos 5 msnm en La Punta, al norte. El acantilado fue formado por la erosión causada por el oleaje del mar sobre la el cono de deyección de los ríos Chillón y Rímac (Le Roux et al., 2000). Sin embargo, esto ha sido detenido con la formación de playas, a través de la construcción de espigones que permitieron la acumulación de sedimentos. Los espigones, construidos por el hombre alrededor de 1940, detienen parte del sedimento transportado por la

deriva litoral o generada por las olas, permitiendo un avance de la línea de costa. Por tal motivo, “la línea de costa se encuentra actualmente en pleno desarrollo, inducido antrópicamente” (Leceta, 2009).

3.2.5 Características de seguridad física

La Bahía de Miraflores, según estudios previos, se encuentra en riesgo frente a los siguientes fenómenos naturales:

Sismos

Los sismos en el Perú se producen debido a la ubicación de la costa peruana sobre el choque de dos placas tectónicas y el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (INDECI-PNUD, 2003). Lima es una ciudad con una larga historia de sismos, que han generado “efectos secundarios como asentamientos, licuación de suelos, derrumbes, caídas de rocas” (INDECI, 2011). Algunos de los sismos de mayor envergadura, y que han tenido un importante efecto sobre la población local se dieron en 1586, 1687, 1746, 1940, 1966, 1974 y 2007. Si bien no se cuenta con información a profundidad de los sismos de 1586, 1687 y 1746, en los últimos 70 años los sismos de mayor intensidad no sobrepasaron el grado VIII en la Escala de Mercalli (INDECI, 2011).

Tsunamis

Como consecuencia de la gran sismicidad a la que se ve enfrentado el Perú, se producen maremotos y tsunamis sobre las costas del mismo. Lima y el Callao no son ajenos a estos eventos, teniendo un periodo de retorno de maremotos de 55 años, en promedio (COOPI, 2010). La Tabla 6 muestra los maremotos o tsunamis de mayor envergadura y más grandes consecuencias sobre la Bahía de Miraflores.

Fecha	Descripción del evento	Generación del evento
9 de julio, 1586	Maremoto frente a la costa de Lima, el mar subió 7 metros, 22 muertos. Inundó todas las playas del Perú.	Sismo de magnitud IX en la escala de Mercalli. Epicentro ubicado sobre la línea de costa en Lima (12,0 S, 77,0 W).
16 de junio, 1678	El maremoto afectó a las localidades de Huacho, Chancay, Ancón, Callao y Chorrillos.	Sismo de magnitud IX en la escala de Mercalli. Epicentro ubicado en 12,3 ° S, 77,8 ° W.
20 de octubre, 1687	El maremoto inundó las playas de Lima con olas de 10m de altura. Los efectos del maremoto fueron catastróficos en los puertos y localidades de Pisco, Chincha, Cañete, Lima, Callao, Chancay y Chimbote.	Sismo de magnitud IX en la escala de Mercalli. Epicentro ubicado en el sur de Lima (13 ° S, 76,6 ° W).
28 de octubre, 1746	Maremoto en el Callao, destruido por dos grandes olas, una de las cuales alcanzó los 10 m. de altura. La mayor altura de la ola ocurrió en los acantilados de Barranco y Miraflores, donde llegó a los 24 m. Hubo	Sismo de magnitud X en la escala de Mercalli. Epicentro ubicado frente al Callao (12,0 ° S, 77,2 °

Fecha	Descripción del evento	Generación del evento
	alrededor de 5 000 muertos y 200 sobrevivientes en el Callao; probablemente sea el maremoto más destructivo registrado a la fecha en la región del Perú.	W).
13 de agosto, 1868	Maremoto causa daños desde Trujillo (Perú) hasta Concepción (Chile), incluyendo al puerto del Callao.	Epicentro ubicado frente a Arica.

Tabla 6. Relación histórica de los principales tsunamis y maremotos que afectaron la Bahía de Miraflores.

Fuente: (COOPI, 2010)

3.2.6 Características socio-económicas

La Bahía de Miraflores se inició su ocupación a mediados del siglo XIX como un balneario con propósito de ser un espacio de recreación para los habitantes de lo que conformaba en ese momento la ciudad de Lima, el centro de Lima. Con la llegada del “Boom del Guano”, durante la segunda mitad del siglo XIX, las líneas de conexión del tren permitieron acercar el centro de Lima con la franja costera, iniciándose la construcción del balneario de Chorrillos. Se construyeron malecones y casonas con el propósito de ser residencias de verano. Aunque este proceso fuera detenido por la Guerra con Chile, durante la última década del siglo XIX se retoma con la construcción del muelle del Club Regatas Lima y accesos públicos en Barranco y Miraflores (Leceta, 2009).

En la década de 1920, Barranco sigue los pasos de Chorrillos, convirtiéndose un nuevo balneario, donde construyen casas de segunda y primera residencia. Además, se instala un funicular en la bajada de baños de Barranco que “permitió un acceso permanente a las playas de este sector de la bahía” (Leceta, 2009, 4), así como los primeros espigones para la acumulación de sedimentos y la formación de playas. Finalizando la década de 1920 Miraflores inicia su urbanización, pero ya no como un balneario exclusivamente sino formado su interrelación con la ciudad de Lima. A partir de 1960 la ciudad de Lima empieza a crecer y expandirse rápidamente. Por tal motivo, la Bahía de Miraflores es convertida por el Gobierno Central en un área de recreación metropolitana y en un eje vial que conectaba la ciudad de Sur a Norte, con el desarrollo del Circuito de Playas de la Costa Verde (Leceta, 2009).

Actualmente, la ciudad de Lima cuenta con 8 693 387 (El Comercio, 2014a), dividida en 43 distritos. Los distritos que conforman la Bahía de Miraflores (incluyendo las regiones de Lima y Callao) cuentan con una población total de 709 940 (INEI, 2007), como se muestra en la Tabla 7.

Distrito	2007
CHORRILLOS	28 6977
BARRANCO	33 903
MIRAFLORES	85 065
SAN ISIDRO	58 056

Distrito	2007
MAGDALENA	50 764
SAN MIGUEL	129 107
LA PERLA	61 698
LA PUNTA	4 370
Total	709 940

Tabla 7. Población de los distritos que conforman el área de estudio 2 (Bahía de Miraflores).
Fuente: (INEI, 2007). Elaboración propia.

La formación de playas por la construcción de espigones y enrocados ha generado la conformación de 15 playas que se localizan en tres distritos: Chorrillos, Miraflores y Barranco. Los distritos de San Isidro, Magdalena del Mar y San Miguel no cuentan con playas (APCV, 2009). El Circuito de Playas es una vía importante para la ciudad de Lima, por lo que viene siendo ampliada a cuatro carriles durante el 2014 y 2015 (El Comercio, 2014b). Además, esta carga se incrementa en los meses de verano pues las playas son visitadas por parte de la población de Lima. Se calcula que “el conjuntos de playas reciben alrededor de 350 000 personas diariamente” (APCV, 2009).

3.3 AE3: Chorrillos

3.3.1 Localización

El AE 3, Chorrillos, incluye las primeras playas del sector conocido como Lima sur: La Chira, Villa, La Encantada, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona (Grández, 2010). El sector Lima sur se ubica en los distritos de Chorrillos, Villa El Salvador y Lurín, dentro de la Provincia de Lima, Región Lima. La línea de costa de la zona de estudio tiene una longitud de aproximadamente 20 km, y un ancho máximo de 300 m (Grández, 2010).

La Figura 17 muestra la ubicación de los distritos de Chorrillos, Villa El Salvador y Lurín.

3.3.2 Delimitación del área de estudio

El AE3 ha sido delimitada, en el norte, por el Morro Solar y, por el sur, por el río Lurín puesto que estos dos límites forman una célula litoral. La corriente logitudinal que viene de sur a norte transporta los sedimentos que trae el río Lurín hacia las playas donde se depositan. El último lugar de deposición es el morro solar (Grández, 2010). La Tabla 8 muestra las coordenadas de los límites del AE3.

No.	Límite	Coordenadas
1	El Morro Solar (Chorrillos, Lima)	12°12'05.02"S 77°02'16.20"O
2	Desembocadura del río Lurín	12°16'20.93"S 76°54'13.07"O

Tabla 8. Coordenadas de los límites que delimitan el área de estudio 3 (Chorrillos).
Fuente: Google Earth. Elaboración propia.



**Figura 17. Ubicación de los distritos del área de estudio 3(Chorrillos).
Fuente: MINAM. Elaboración propia.**

La zona se caracteriza por tener una línea de costa prácticamente recta. Sin embargo, el ancho de la playa es variable, principalmente debido a la ocupación de la población sobre la misma. Algunas de las edificaciones se encuentran a menos de 50 m. de la línea de costa lo que acortan el área de la playa significativamente.

3.3.3 Características climáticas

Como toda el área Metropolitana de Lima, la zona de estudio cuenta con un clima seco y árido, clasificado según Thornthwaite como un clima árido (codificación E(d) B'1 H3), con deficiencia de lluvias durante todo el año y presencia de lloviznas ligeras entre abril y diciembre (Figura 10). Cuenta con una temperatura promedio mensual máxima de 27 °C y mínima de 20 °C durante el verano, y una temperatura promedio mensual máxima de 20 °C y mínima de 14 °C en invierno (SENAMHI, s.f.). No existe una gran variación en la temperatura a través del año, siendo máximo de 3 °C.

Como en toda la costa central del país, el área de estudio se identifica por contar con presencia de neblina en los meses de invierno. Esta se genera debido al fenómeno de inversión térmica que se produce en los niveles bajos de la tropósfera. La inversión térmica en la costa peruana está condicionada por la temperatura superficial del agua del mar, que al ser más fría que la temperatura del aire genera densas neblinas (SENAMHI, s.f.).

3.3.4 Características geológicas y geomorfológicas

La zona cuenta con infraestructura que, a simple vista, muestra una influencia sobre la geomorfología de la playa. El colector de desagüe de Lima Sur, conocido como La Chira, cuenta con un desfogue que llega directamente al mar dentro del área. El desagüe de la cancha de Golf del Club Villa también cuenta con un desagüe que es depositado sobre la playa, para luego llegar al mar. En ambos casos, la infraestructura está ubicada a menos de 50 m de la línea de costa. Además, el AE cuenta con la Zona Reservada Los Pantanos de Villa.

En términos geológicos la zona se asienta sobre los conos de deyección del río Lurín. Se encuentra compuesta del segundo ciclo sedimentario y comprende la formación Morro Solar y áreas de depósitos. Sobre estas se componen planicies costeras rellenas con conglomerados de arenas, gravas y arcillas principalmente. Por tal motivo, se considera que la composición del área es muy inestable para la construcción, tanto industrial como residencial (Grández, 2010).

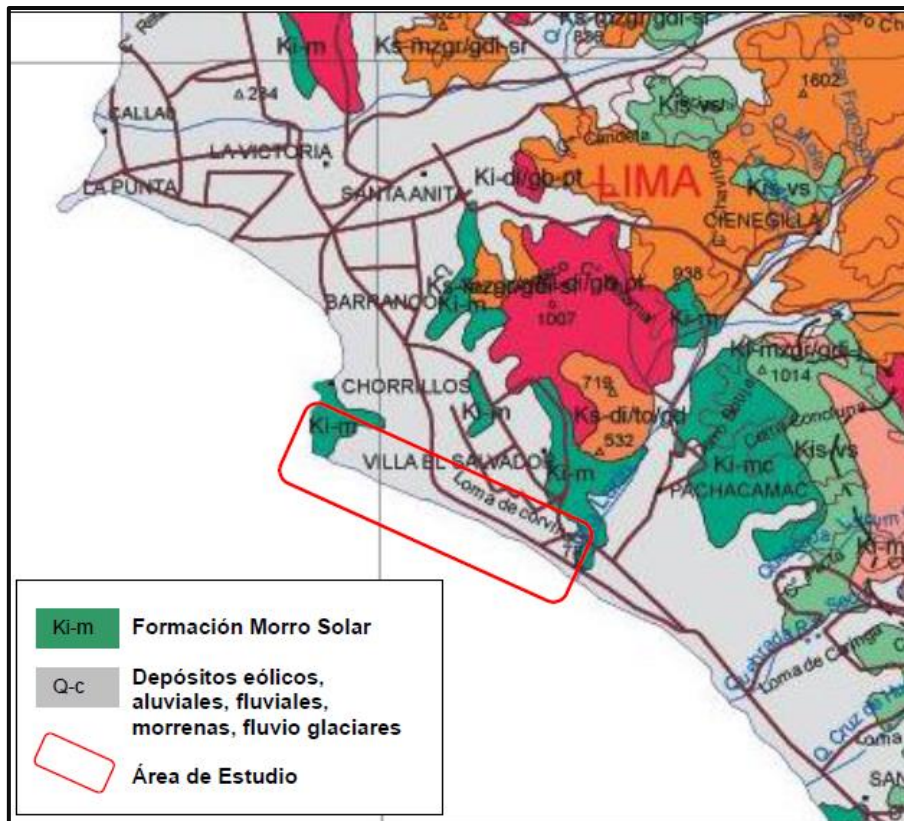


Figura 18. Mapa geológico de Chorrillos y Lurín, en el área de estudio 3.
Fuente: (Grández, 2010)

3.3.5 Características de seguridad física

La zona sur de Lima se enfrenta a los siguientes fenómenos naturales:

Sismos

Debido a la ubicación de la costa peruana sobre el cinturón de fuego del Pacífico, esta se encuentra en riesgo de ser afectada por un sismo. El Perú se localiza sobre la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, la que ha “provocado un gran número de sismos de gran poder destructivo en la parte occidental de nuestro territorio” (INDECI, 2010, 3). Se cuenta con registros de sismos de gran magnitud que afectaron el AE desde 1586, siendo el más reciente el 2007 con epicentro en Pisco. Los sismos de mayor intensidad de los que se tiene registro desde 1586 no sobrepasaron el grado VIII en la Escala de Mercalli (INDECI, 2011).

Existe, actualmente, un silencio sísmico en toda la costa central del país, incluyendo la zona de estudio (INDECI, 2010).

Tsunamis

Otras de los riesgos que ha enfrentado esta zona costera son los tsunamis y maremotos. La costa de la provincia de Lima ha sido afectada por maremotos y tsunamis en repetidas ocasiones. Se estima que cuentan con un periodo promedio de

55 años (COOPI, 2010).

3.3.6 Características socio-económicas

Los distritos de Chorrillos, Villa El Salvador y Lurín cuentan con una población total de 731 707 (INEI, 2007), distribuidos según lo que se indica en la Tabla 9.

Distrito	2007
CHORRILLOS	28 6977
VILLA EL SALVADOR	381 790
LURÍN	62 940
Total	731 707

Tabla 9. Población de los distritos que conforman el área de estudio 3 (Chorrillos).
Fuente: (INEI, 2007). Elaboración propia.

Las playas muestran “una incipiente ocupación residencial junto con la presencia de pequeños clubes con campos deportivos, piscinas y áreas verdes” (Grández, 2010, 37). Además, se observa la presencia de un muelle en Conchán en Villa El Salvador, pequeñas industrias pesqueras, granjas avícolas y refinerías, así como desfuegos de agua provenientes del colector de desagüe La Chira y la cancha de golf del Club Villa (Grández, 2010).

No obstante, la zona litoral cuenta con humedales, tanto perennes como los Pantanos de Villa, como estacionales. La Zona Reservada de los Pantanos de Villa es de gran importancia, al ser el hábitat de una variedad de aves migratorias, así como otras especies de flora y fauna. Esta reserva se ve amenazada por el crecimiento de los distritos donde su ubica y por la contaminación generada por la población (Grández, 2010).

MCMXVII

4 METODOLOGÍA

A continuación, se presentan los procedimientos llevados a cabo en esta investigación, desde el planteamiento del problema hasta la definición de resultados. Dentro del esquema se considera las tres áreas de estudio donde se aplicará el IVC: AE1 que corresponde al Balneario de Asia, AE2 a la Bahía de Miraflores y AE3 a las zonas de La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona dentro del distrito de Chorrillos. El esquema a continuación (Figura 19) explica los pasos que se siguieron en la etapa metodológica, con énfasis sobre la fuente donde se obtuvo la información para cada AE.

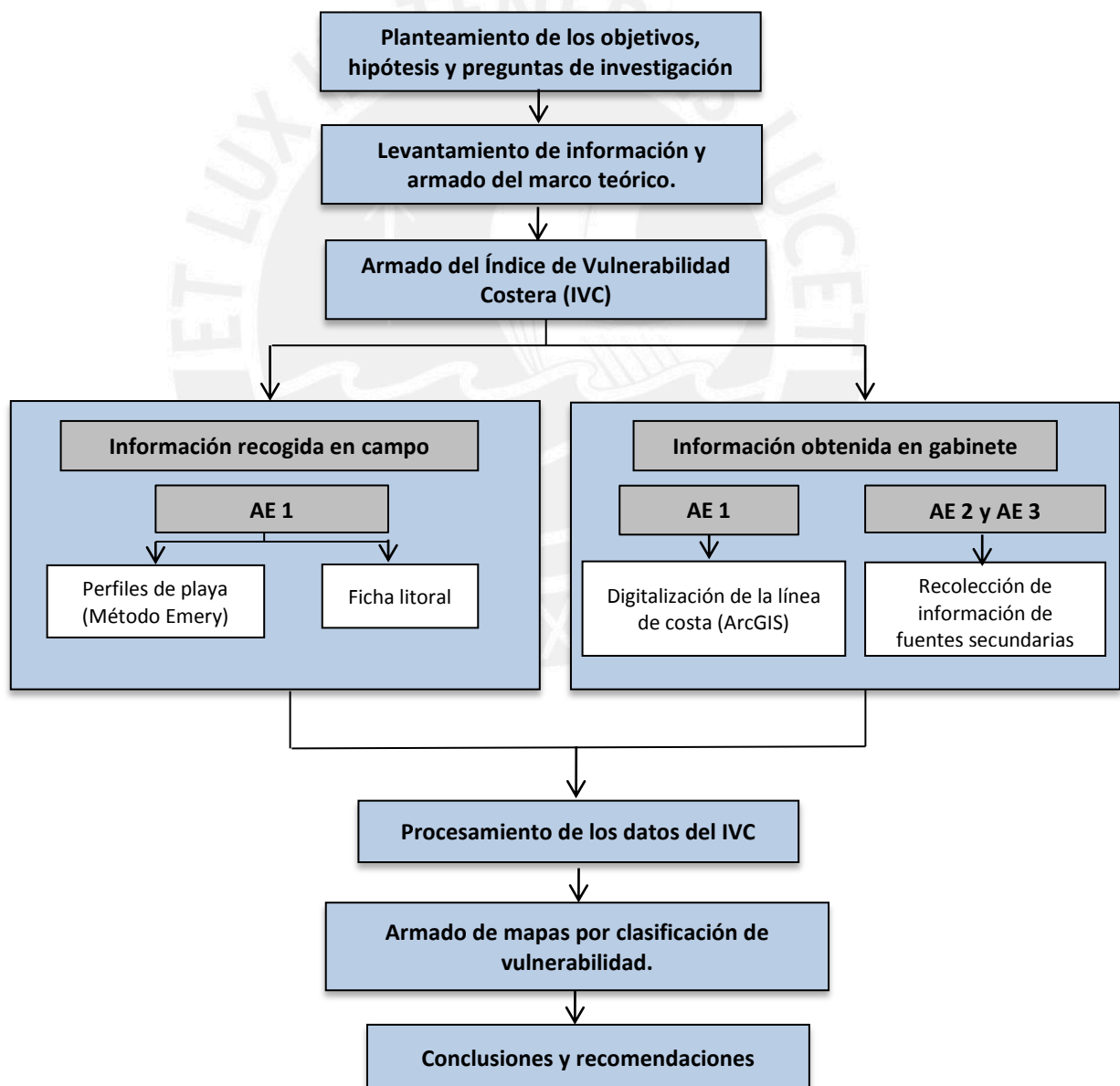


Figura 19. Esquema de la metodología que será utilizada. Elaboración propia.

4.1 Índice de Vulnerabilidad Costera

El IVC que se aplicará para esta investigación está basado en el *Coastal Vulnerability Index* (CVI) de la USGS (Pendleton et al., 2004) e incorpora variables de otros índices, adaptadas para el cálculo de la vulnerabilidad por zonas (Rondón, s.f.). El CVI, asigna a cada una de sus variables un valor basado en la magnitud de su contribución a los cambios físicos de la costa, que va del 1 al 5 (vulnerabilidad muy baja a vulnerabilidad muy alta, respectivamente). Esto se aplicará de la misma manera con las variables consideradas para este índice. No obstante, una de las principales limitaciones de este índice es que no incluye aspectos socio-económicos en el análisis de la vulnerabilidad costera. Para hacerle frente a este problema, se plantea dos soluciones: el uso del índice con otros indicadores que puedan representar la complejidad del sistema costero, o modificar y extender la formulación original del CVI para incorporar las variables socio-económicas (Ramieri, et al., 2011). Se utilizó la segunda opción para esta investigación.

La adaptación del CVI se ha dado en una diversidad de investigaciones siendo aplicado en zonas costeras alrededor del mundo, incluyendo la incorporación de variables socio-económicas. McLaughlin y Cooper (Ramieri, et al., 2011), por ejemplo, desarrollaron un IVC incluyendo la vulnerabilidad frente al incremento del nivel del mar por efectos del cambio climático y lo compararon con el CVI, aplicando ambos en la misma área. En este IVC combinaron variables físicas y humanas, incluyendo el uso de suelo, tipos de vías, herencia cultural, tipo de centro poblado, entre otras. Duriyapong y Nakhapakorn (2011) aplicaron un IVC en el área de Samut Sakhon, Tailandia, utilizando también variables físicas y socio-económicas. Las variables socio-económicas incluidas fueron el uso del suelo, densidad poblacional, herencia cultural y vías de ferrocarril. Otros IVC concentrados en la vulnerabilidad frente al incremento del nivel del mar, como el de Ozyurt y Ergin (2010), propone como una de las variables físicas la tasa de aumento del nivel del mar.

Otro estudio de gran importancia realizado, pero no basado en CVI de la USGS, es el Eurosion aplicado en las costas europeas, que pretende “cuantificar la amplitud del fenómeno de erosión costera y estimar si este fenómeno constituye un problema de intensidad creciente” (Eurosion, 2005). En este IVC se incluyeron variables físicas y humanas como el aumento relativo del nivel del mar, cambios en la línea de costa, nivel más alto del mar, urbanización costera, reducción del suministro de sedimentos del río, geología, elevación, ingeniería de estructuras de protección costera, entre otras (Eurosion, 2004). Sin embargo, estas variables no fueron consideradas al estar basadas en otra metodología.

Finalmente, se realizó un análisis de diferentes variables aplicadas en los índices, escogiendo las que contaran con disponibilidad de información para la aplicación o construcción, y la aplicabilidad para la zona de estudio dentro de la Región Lima.

El índice fue dividido en dos tipos o grupos de variables: físicas y socio-económicas. Las primeras buscan determinar la respuesta física de la costa frente a diversos peligros, como la erosión costera o la subida del nivel del mar, y fueron obtenidas del CVI de la USGS (Pendleton et al., 2004). Debido al limitado acceso a recursos e información, solo se han incluido en esta investigación cuatro de las variables utilizadas por la USGS en su CVI: geomorfología, pendiente de la playa, la altura media de la ola y la variabilidad de la línea de costa. Estas miden la vulnerabilidad física en la zona costera y, a excepción de la última, pueden ser levantadas durante el trabajo de campo. La línea de marea media no fue considerada por la cercanía entre las áreas de estudio, lo que no generaba una diferencia que pudiera ser significativa.

Si bien la geomorfología/geología es parte del CVI de la USGS, se utiliza dentro de este índice la adaptación propuesta por Ojeda et al. (2009), puesto que esta versión se adapta mejor a las características de las áreas de estudio incluidas. La geomorfología y geología se levantó a partir de la observación y la investigación de fuentes secundarias. Es una variable de gran importancia puesto que permite conocer la “erodibilidad relativa de las diferentes formaciones costeras” (Ojeda et al., 2009, 662).

La pendiente de playa se incluyó en el IVC pues permite evaluar el riesgo de inundación de la playa, y al mismo tiempo, la potencial rapidez del retroceso de la costa, puesto que las zonas costeras de poca pendiente retrocederá más que las de mayor pendiente.

La altura media de la ola es un indicador representativo de la energía de las olas. La altura y energía de las olas son correlativas; a medida que la altura de la ola se incrementa, también lo hará la energía. Esto tiene un efecto directo sobre la movilización de sedimento en la zona costera, generando que a mayor tamaño de la ola, mayor será el sedimento movilizado (Pendleton et al., 2004).

La última variable física es la variabilidad de la línea costera, la cual permite conocer el retroceso o avance del mar con respecto a la costa. Si bien un retroceso en la línea de costa puede deberse a un incremento en el nivel del mar, como a una disminución de los sedimentos disponibles, esta variable permite entender las dinámicas costeras a lo largo del tiempo, en escalas de tiempo recientes (Pendleton et al., 2004).

Por su parte, las variables socio-económicas se han incluido por la importancia de incorporar datos de carácter socioeconómico, que permitan conocer la adaptación de la población local frente al riesgo. Se han utilizado tres variables socio-económicas: distancia de las estructuras con el nivel medio de la marea, densidad poblacional y uso

de suelo. Estas han sido adaptadas de otros estudios y a partir de la información disponible, para ser incluidas dentro del IVC.

La relevancia del uso del suelo reside en que se requiere de una mayor protección según la importancia económica, cultural o ambiental que se le atribuye a un área determinada (McLaughlin et al., 2002). Por tanto, el uso que le de la población y la importancia de este uso (i.e. público-privado/residencial-comercial), tendrá un efecto en el grado de vulnerabilidad otorgado. Por tal motivo, se planteó que la menor vulnerabilidad se daría en zonas sin infraestructura y con cuerpos de agua, que ayuden a contrarrestar la entrada del mar sobre la costa.

A medida que haya una mayor concentración de infraestructura implica generalmente una mayor importancia en términos económicos. Por lo que se planteó que a mayor concentración habría mayor vulnerabilidad. El tipo de infraestructura da indicios sobre la vulnerabilidad a las que se vería enfrentada la población al verse en un retroceso de la línea de costa. Espacios que provean servicios básicos a la población local son prioritarios, y por tanto al verse frente a un posible peligro generarán mayor vulnerabilidad. A partir de esto se consideró a los hospitales, colegios, plantas de agua o desagüe y rutas de escape, como zonas prioritarias frente a un peligro, y por tanto de mayor importancia cultural.

La variable de distancia de las estructuras con el nivel medio de la marea, se basó en el Manual Básico para la Estimación del Riesgo elaborado por el INDECI, que incorpora la localización de viviendas o infraestructuras “de acuerdo a la ubicación del tipo de vulnerabilidad” (INDECI, 2006), en este caso el nivel medio de la marea. Se estableció que la mayor vulnerabilidad se dará a una distancia menor a los 50 m, debido a lo que establece la Ley de Playas (Ley n° 26856 de 1997 y su reglamento del 2006). Esta ley tiene como objetivo el cuidado de “playas del litoral... [como] bienes de uso público, inalienables e imprescriptibles” (Congreso de la República, 1997), las cuales tienen un ancho no menor a 50 m desde la línea de alta marea. Además, se establece un área de dominio restringido en los 200 m. adyacentes a la franja de playa, donde se restringe la construcción de cualquier infraestructura (a menos que haya sido edificada antes de la entrada en vigencia de la Ley 26856). Por tal motivo, se estableció que una vulnerabilidad baja debía estar alrededor de los 200 m de distancia, y otorgando una muy baja vulnerabilidad por sobre los 230 m. La determinación de los rangos para esta variable respondió, también, a las distancias observadas en las áreas de estudio.

Variable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	1	2	3	4	5
VARIABLES FÍSICAS					
Pendiente de la playa (°) ¹	> 6,0	6,0 – 5,0	4,9 – 4,0	3,9 – 3,0	< 3,0
Altura media de la ola (m) ²	< 0,5	0,5 - 1,0	1,1 - 1,5	1,6 - 2,0	> 2,0
Geomorfología/geología ³	Acantilados altos o medios sobre rocas consolidadas y resistentes	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erosión	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales elevadas y con sedimentos tipo grava o roca	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas y con sedimentos tipo arena	Playas adosadas a humedales tómbolos, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones estuarinas o fluvio-mareales
Variabilidad de la línea de costa (m/año) ⁴	> 3,0	2,1 – 3,0	1,1 – 2,0	0,1 – 1,0	< 0,0
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS					
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m) ⁵	> 230	230 – 171	170 – 111	110 – 51	≤ 50
Densidad poblacional (hab/km ²) ⁶	≤ 50	51-500	501 - 1 000	1 001 - 5 000	> 5 000
Uso del suelo ⁷	Zona con cuerpos de agua, sin infraestructuras	Zona costera con infraestructuras espaciadas que no incluyen espacios públicos de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.).	Zona costera con infraestructura concentrada que no incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.).	Zona costera con infraestructura espaciada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.).	Zona costera con infraestructura concentrada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.).

**Tabla 10. Variables del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC).
Elaboración propia.**

¹ Basado en el CVI de la USGS, y adaptado a las características de las zonas de estudio analizadas.

² Basado en el CVI de la USGS, y adaptado a las características de las zonas de estudio analizadas.

³ Utiliza la adaptación propuesta por Ojeda et al (2009), basado en la clasificación del CVI de la USGS.

⁴ Basado en el CVI de la USGS, y adaptado a las características de las zonas de estudio analizadas.

⁵ Basado en el Manual Básico para la Estimación del Riesgo (INDECI, 2006) y la Ley de Playas (n° 26856).

⁶ Elaboración propia.

⁷ Elaboración propia según lo aplicado por McLaughlin et al, 2002.

La densidad poblacional permite reconocer la concentración de población residente dentro del área que se encontraría en posible riesgo frente a un peligro costero. No se cuenta con acceso a datos oficiales que permitan conocer el número exacto de población concentrada en las áreas de estudio, pues los datos disponibles a menor escala están a nivel distrital. Debido a esto los rangos del IVC fueron planteados a partir de la diversidad de densidades encontradas en la región Lima.

A partir de este análisis se construyó una tabla (Tabla 10) en donde se integran 4 variables físicas, y 3 variables socio-económicas, asignándole a cada una, un valor basado en la magnitud de su contribución a la creación de vulnerabilidad en la costa, que va del 1 al 5 (muy baja a muy alta vulnerabilidad, respectivamente). Los rangos para cada variable han sido ajustados a las características de las áreas de estudio, para poder hacer una comparación de diferentes sectores de la misma.

La información de cada AE se marcó en cada sección, obteniendo cada una un puntaje de vulnerabilidad para cada variable. Los valores fueron ingresados a la siguiente ecuación para la determinación del IVC total (Thieler et al., 2009b):

$$IVC \text{ total} = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f \cdot g}{7}}$$

Siendo a: pendiente de la playa, b: altura media de la ola, c: Geomorfología/geología, d: variabilidad de la línea de costa, e: distancia de las estructuras con el nivel medio de marea, f: densidad poblacional, g: uso del suelo. Luego, se ingresaron solo los valores de las variables físicas para obtener un resultado basada solo en ellas. Este calculó el IVC físico, y utilizó la siguiente ecuación:

$$IVC \text{ físico} = \sqrt{\frac{a \cdot b \cdot c \cdot d}{4}}$$

Siendo a: pendiente de la playa, b: altura media de la ola, c: Geomorfología/geología, d: variabilidad de la línea de costa. Finalmente, se ingresaron los valores correspondientes a las variables socio-económicas. Obteniendo un resultado para la variabilidad socio-económica de cada área de estudio. Se utilizó la siguiente ecuación para obtener el IVC socio-económico:

$$IVC \text{ socio - económico} = \sqrt{\frac{e \cdot f \cdot g}{3}}$$

Siendo e: distancia de las estructuras con el nivel medio de marea, f: densidad poblacional, g: uso del suelo.

Los resultados que se obtuvieron con este IVC, como los del CVI de la USGS, son

relativos puesto que no proveen un resultado cuantitativo de la vulnerabilidad que enfrenta una determinada zona, pero permite hacer una comparación basándose principalmente en la vulnerabilidad física y socioeconómica (Ojeda et al., 2009).

4.2 Información recogida en campo

La información recogida en campo responde al AE1, Balneario de Asia. Esta fue recogida debido a que muchos de los datos requeridos para el IVC no habían sido levantados previamente. Tanto para la ficha litoral como para el perfil de playa, se plantearon tres puntos para la recolección de información, cada uno de los cuales recibió un código. No se establecieron más puntos por la alta homogeneidad en la playa. Estas ubicaciones permitieron recoger la información necesaria para el análisis a realizarse posteriormente.

4.2.1 Ficha litoral

La ficha utilizada se encuentra en el Anexo 9.1 y fue aplicada en los mismos puntos que los perfiles de playa. Esta ayuda a realizar una observación más detallada de la zona, así como realizar mediciones simples. La primera parte de la ficha cuenta con espacio para poner los datos del lugar donde se está llevando a cabo la recolección de datos, como las coordenadas geográficas, el código y nombre del perfil y la fecha y hora.

Luego esta recogió información sobre la altura de diez olas consecutivas, de las cuales se obtuvo un promedio. Para esto se debió entrar hasta el lugar donde revienta la ola y medir con una vara la altura desde donde sobresale la ola. Después, se midió el periodo de la ola, que se calculó con el promedio del intervalo de tiempo que demora en reventar una ola. Esto se logra al tomar el tiempo de 11 olas consecutivas y dividir el resultado entre 10. El siguiente punto comprende la recolección de los ángulos de incidencia de la ola con respecto a la línea de costa, el tipo de rompiente, así como la velocidad y dirección de la corriente marina. La siguiente sección recogió variables de la morfología de la playa. La primera, es el ancho de la playa, que se calculó a partir de la suma de la variación horizontal del perfil de playa. Finalmente, la observación permitió obtener los datos de la orientación, características del perfil, clasificación morfodinámica, presencia de cúspides y tipo de sedimento. Además, se apuntó la presencia de infraestructuras y otras observaciones relevantes.

4.2.2 Perfiles de playa

El perfil de playa puede ser definido como un corte topográfico transversal entre la playa posterior y la playa interior. El perfil se levantó a partir del método de Emery

(1961), el cual consiste en realizar mediciones horizontales y verticales para conocer el perfil transversal de la playa. La metodología utiliza dos varillas de 1,5 m graduadas en centímetros y una ficha donde se anotan las mediciones realizadas (Anexo 9.2). De esta manera, se mantiene bien sistematizada la información recolectada. Para comenzar la recolección de datos se debe ubicar un punto de partida. Este debe ser un lugar que pueda ser identificado fácilmente y que se mantenga a lo largo de los años; permitiendo que se pueda repetir el levantamiento del perfil en el futuro. El perfil debe estar orientado de forma transversal a la playa. Una de las varillas debe ser colocada sobre el punto de inicio, mientras que la segunda varilla se pone a una distancia determinada de la primera (se recomienda que la distancia entre ambas varillas sea de 1,5). Esta distancia determina la variación horizontal (Figura 20).

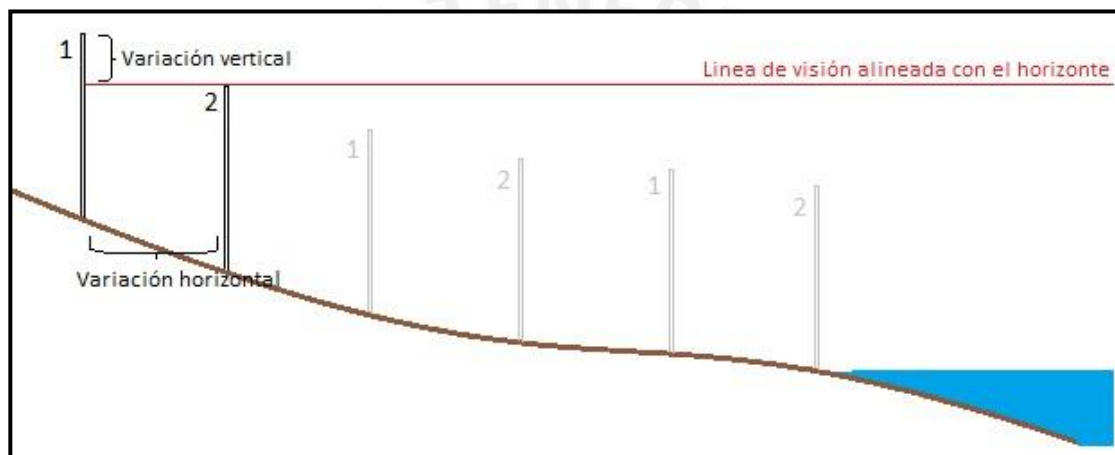


Figura 20. Levantamiento de perfil de playa según el método Emery.
Fuente: (Emery, 1961). Elaboración propia.

El observador debe pararse detrás de la primera varilla, teniendo la segunda delante. Se posicionará de tal forma que su línea de visión se encuentre alineada con la varilla número 2 y con el horizonte. La altura en donde se alinean ambas permitirá medir en la primera varilla la diferencia de altura o variación vertical (Figura 20). La varilla de atrás será siempre desde la cual se determine la variación vertical. Los datos de la variación vertical y horizontal son recolectados en la ficha. Este ejercicio debe repetirse, avanzando a través de la playa, hasta llegar aproximadamente a la bajamar. Es necesario apuntar la hora en que se llega al nivel del mar.

4.3 Información obtenida en gabinete

La recolección de información en gabinete comprendió las tres áreas de estudios consideradas dentro de la investigación. Se realizó un análisis espacio-temporal para el AE 1, y la recolección de datos de fuentes secundarias diversas. Las principales fuente de información para las variables físicas en el caso del AE 2 y el AE 3 fueron extraídas

de Leceta (2009) y Grández (2010) respectivamente, tesis llevadas a cabo en estas mismas áreas de estudio. El levantamiento de información para las variables socio-económicas fue obtenido de fuentes secundarias.

4.3.1 Margen de error

El margen de error estimado es un índice relacionado con la variación horizontal de la marea, y calculado a partir de los resultados obtenidos en los perfiles de playa. Es necesario considerar este margen para examinar los resultados del análisis espacio temporal de la línea de costa. Una variación dentro del margen de error, implica que puede responder a una variación natural de la marea, especialmente cuando se utiliza información de diferentes épocas del año. El desplazamiento horizontal de la marea sobre la playa es inversamente proporcional a la pendiente de la misma. Por tal motivo, se alcanzan amplitudes mayores cuando existen pendientes suaves de arena fina y amplitudes menores con pendientes pronunciadas y sedimentos de mayor tamaño (Rondón, 2011, 31).

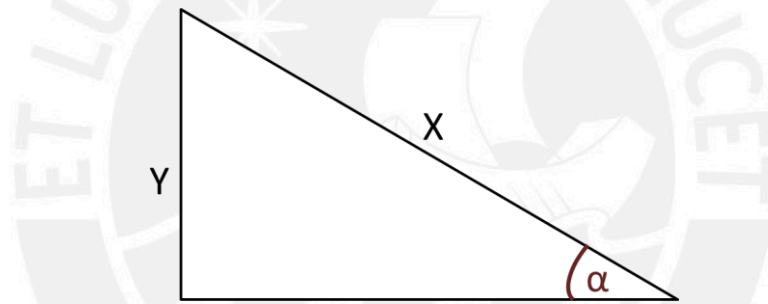


Figura 21. Triángulo para calcular el ángulo de la pendiente del perfil de playa

El margen de error se calcula a partir de los datos obtenidos en el perfil de playa. Se consideran los datos de la variación horizontal (X) y la variación vertical (Y), para calcular el ángulo de la pendiente del perfil (α) (Figura 21), a través de la siguiente fórmula:

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

Donde:

α = ángulo del perfil

Hipotenusa = variación horizontal (X)

Cateto opuesto = variación vertical (Y)

A partir de este cálculo se obtiene el ángulo α , el cual representa al ángulo del perfil de playa. Este resultado permite calcular la variación horizontal de la marea. A partir de la

pendiente del perfil y la amplitud máxima de la marea, podemos calcular la variación horizontal natural que tiene la marea. Debido a que solo tomamos en cuenta la marea sobre la playa, este resultado se dividirá en la mitad para obtener el margen de error estimado.

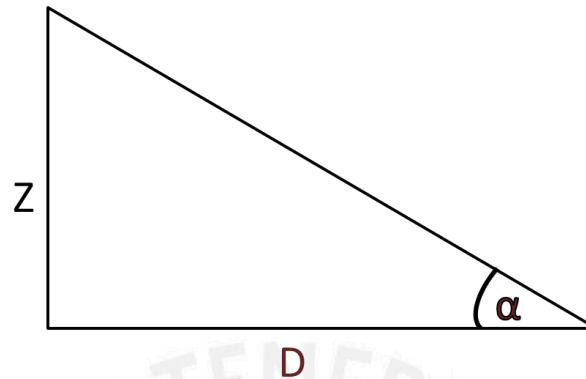


Figura 22. Triángulo para calcular la variación horizontal de la marea

El cálculo de la variación horizontal de la marea se realizó a través de la siguiente fórmula (Rondón, 2011):

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

Donde:

α = ángulo de la pendiente del perfil

Z = variación máxima histórica de la marea⁸

D = variación horizontal

4.3.2 Análisis espacio temporal

El AE2 como el AE3, cuentan con un análisis espacio-temporal realizado previamente. Para el AE2 fue elaborado por Leceta (2009) para los años 1936, 1974, 1961-1963, 1986, 1995 y 1998-1999. Aplicó una metodología donde se georeferenció diferentes imágenes a través de los software ArcGIS 9.2 (ESRI), ERDAS IMAGINE 9.0 (Leica) y Google Earth v. 4.0.2722, para luego calcular la tasa de cambio con el Digital Shoreline Analysis System (DSAS) v. 3.2. El análisis espacio-temporal para el AE 3, fue realizado por Grández (2010) y utilizó imágenes de los años 1936, 1979, 2003 y 2008, que fueron digitalizados con ArcGIS 9.3. La tasa de cambio, también, fue calculada a través de la extensión para ArcGIS, DSAS v. 3.2.

Debido a que el AE1 no contaba con un análisis espacio-temporal de su línea de costa,

⁸ Dato obtenido de la Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú para la zona del Callao, tomando el Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO), cuyos valores han sido calculados en base a la data histórica de las Estaciones Mareográficas (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2006).

se ejecutó uno usando la metodología de Thieler (et al, 2009b). El primer paso fue la construcción de una serie histórica de líneas de costa, basadas en fotos aéreas e imágenes satelitales. Las fotos aéreas se obtuvieron del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y se describen en la Tabla 11.

Código de la fotografía aérea	Autor	Escala aproximada	Fecha	Escenas
2429, 2431	IGN	1/80 000	1986	2
2133, 2134, 2135	IGN	1/80 000	1999	3

Tabla 11. Datos de las fotografías aéreas que serán utilizadas.
Elaboración propia.

La imagen satelital utilizada fue adquirida del *software* Google Earth v. 7.1.3.22.3, versión gratuita. Estas se describen en la Tabla 12.

Autor	Resolución espacial	Fecha	Observaciones
Google Earth	-	1969	-
Google Earth	-	2007	-

Tabla 12. Datos de las imágenes satelitales que serán utilizadas.
Elaboración propia.

Estas imágenes y fotos fueron seleccionadas debido a su disponibilidad y bajo costo. Las dos fuentes permiten tener un rango amplio de años (21 años), para la comparación de la variabilidad de la línea de costa.

El siguiente paso consistió en el procesamiento de las fotos aéreas seleccionadas con el *software* ArcGIS de ESRI, versión 10.1. Se inicia por georeferenciar las fotos a través del proceso que se detalla continuación (Rondón, 2011):

1. Llamar a la imagen que se desea georeferenciar en el programa ArcMap.
2. Abrir la barra de herramientas *Georeferencing*, haciendo click en *View* y luego en *Toolbars*.
3. Escoger un mínimo de 30 puntos sobre la imagen, de donde ya se tengan las coordenadas. A mayor número de puntos, mayor será la precisión de la georeferenciación.
4. Sobre la barra de herramientas *Georeferencing* hacer click sobre el botón *Add Control Points*.
5. Agregar los puntos de control sobre los puntos de los que ya se conocen las coordenadas. Ingresar los datos X e Y para cada uno de ellos.
6. El margen de error (*Total RMS Error*) debe mantenerse por debajo de 0.003 para lograr una rectificación aceptable.
7. La imagen debe ser rectificada haciendo click sobre *Rectify*, que se encuentra

dentro del menú de la barra de herramienta *Georeferencing*.

8. Definir la referencia espacial de la imagen en la opción de propiedades de la misma.

Debido a que las imágenes satelitales y las fotos aéreas no cuentan con un sistema de coordenadas ya establecidas, se tomaron puntos con coordenadas conocidas para ser aplicadas sobre ellas.

El siguiente paso se lleva a cabo con el mismo *software* utilizado anteriormente, ArcGIS 10.1. Este consiste en ortocorregir las fotografías aéreas que fueron georeferenciadas anteriormente. La ortocorrección tiene el objetivo de corregir la distorsión que puedan tener las imágenes para que las mediciones posteriores se lleven a cabo con mayor precisión. Los pasos a seguir para esta etapa se presentan a continuación (Rondón, 2011):

1. Ingresar la imagen georeferenciada.
2. Ingresar un DEM (Modelo Digital de Elevación), descargado de la web Aster gratuitamente. La resolución de esta imagen es de 30 metros cuadrados.
3. Abrir en *Data Management Tools*, en la opción de *Raster*, la herramienta llamada *Create Ortho Corrected Dataset*. Dejarla correr.

Con la imagen ya georeferenciada y ortocorregida se procede a hacer la digitalización de la línea de costa. Debido a la variación constante de la misma esta debe ser entendida siempre dentro de un contexto temporal. Por tanto, se debe elegir un criterio de referencia, para seguir el mismo procedimiento de digitalización en todas las fotografías e imágenes. Para este estudio se tomó el nivel medio de la marea como criterio de referencia. Para la digitalización se usa nuevamente el programa ArcGIS 10.1, a través de los siguientes pasos (Rondón, 2011):

1. Definir el DATUM del proyecto a WGS84 dentro de un proyecto de ArcMap.
2. Agregar la fotografía área o imagen satelital georeferenciada y ortocorregida.
3. En ArcCatalogue, crear una cobertura digital (*shapefile*), dándole el atributo de *Polylines* y el datum WGS84.
4. En ArcMap, utilizar la herramienta *Sketch Tool* encontrada en el *Editor Toolbar*. Digitalizar la línea de costa sobre la fotografía área o imagen satelital. Al terminar la línea, se debe escoger la opción de *Finish Sketch* y *Stop Editing* que se encuentran también en el *Editor Toolbar*.
5. Se debe repetir estos pasos para digitalizar las líneas de costa de todas las imágenes escogidas en los diferentes años.

Para el caso de la imagen satelital del año 2007, la digitalización de la línea de costa se

hizo con el software Google Earth v. 7.1.3.22.3, versión gratuita. El resultado fue una línea en formato KML que puede ser convertida a formato *shape* a través del *ArcScript KML2SHP Conversion* (Rao, 2007).

Con estos insumos bases se llevó a cabo el análisis a través del *software* DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), el cual permite hacer una comparación entre las diferentes líneas de costa y las variaciones que se dan entre ellas. Se puede elegir un año base para realizar estas comparaciones o contar con una línea base arbitraria de referencia, a partir de la cual se medirán las variaciones. Estas diferencias son calculadas en intervalos constantes definidos por el usuario (transectos) (Himmelstoss, 2009).

4.3.3 *Recolección de información de las variables*

La información de las variables físicas y socio-económicas fue obtenida de diversas maneras. En el caso del AE 1 se construyó la mayor parte de la información a través de mediciones, cálculos y observaciones. En el caso del AE 2 y AE 3, la recolección de información se basó en observaciones y en levantamiento de información secundaria.

Pendiente de la playa

La pendiente de la playa de Asia se obtuvo calculando la pendiente del margen de error descrito previamente. Se calculó un promedio simple de los tres resultados. En el caso de la Bahía de Miraflores y Chorrillos se llevó a cabo el mismo cálculo, pero a partir del margen de error realizado en las investigaciones de Leceta (2009) y Grández (2010).

Altura media de la ola

Para el AE1, Balneario de Asia, la altura media de la ola fue promediada a partir de los resultados que se obtuvieron en las fichas litorales. Para el caso del AE2 y AE3 la información se recogió de las investigaciones de Leceta (2009) y Grández (2010).

Geomorfología/Geología

En el caso de la geomorfología y geología se recogieron las observaciones de la ficha litoral para Asia. En el caso de Chorrillos se obtuvo de la descripción realizada por Grández (2010), y para la Bahía de Miraflores por Leceta (2009).

Variabilidad de la línea de costa:

La variabilidad de la línea de costa para el Balneario de Asia se generó con el análisis espacio temporal, que se describe previamente. El número utilizado fue el promedio del *End Point Rate* (EPR) para todos los transecto entre los años 1969 y 2007.

En el caso de la Bahía de Miraflores, se utilizó el promedio del EPR entre los años 1944-2005 obtenida de la investigación de Leceta (2009). Para la AE3, Chorrillos, el EPR fue recogida de Grández (2010) tomando en cuenta el análisis realizado entre 1936 y 2008.

Distancia de la estructura con el nivel medio de la marea:

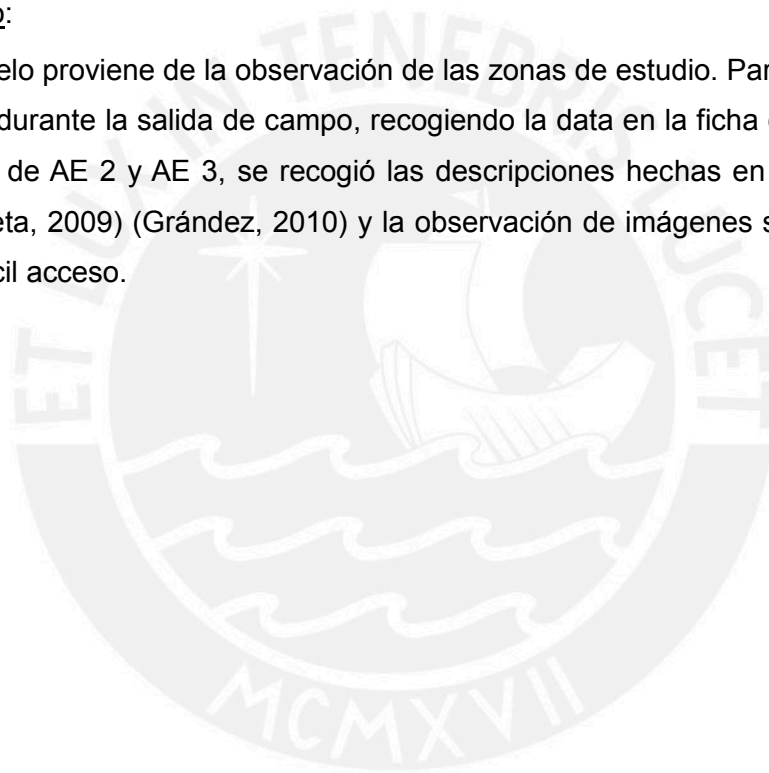
Para las 3 zonas de estudio, se utilizó un promedio de las distancias obtenidas en los perfiles de playa. Debido a que los perfiles se inician en un punto referencial que debe ser estático, en todos los casos se ha tomado infraestructura cercana. Por tal motivo, este fue un buen indicador de las estructuras construidas más cercanas a la línea de costa.

Densidad poblacional:

Debido a que no se cuenta con acceso a datos a una escala mayor que la distrital, se tomó esta información. La densidad poblacional fue calculada a partir de la población según el censo del INEI 2007 (fuente) dividido entre el área total del distrito (km²).

Uso del suelo:

El uso del suelo proviene de la observación de las zonas de estudio. Para el caso de AE 1, se realizó durante la salida de campo, recogiendo la data en la ficha de observación. Para el caso de AE 2 y AE 3, se recogió las descripciones hechas en investigaciones previas (Leceta, 2009) (Grández, 2010) y la observación de imágenes satelitales y foto aéreas de fácil acceso.



5 RESULTADOS

5.1 Información recogida en el campo

La información recogida en el campo fue solo para la AE1, Asia, ya que era la única que no contaba con los datos requeridos para esta investigación. En el caso de las AE2 y AE3, la información fue obtenida de fuentes secundarias.

5.1.1 Ficha litoral

La información de la ficha litoral fue recogida en tres puntos durante la salida de campo, los mismos donde se levantaron los perfiles de playa. La ubicación de estos tres puntos se observa en la Figura 23. La elección de lugares se planteó en relación a la única entrada pública con la que cuenta el Balneario de Asia.



**Figura 23. Ubicación de los puntos donde se levantó la información de la ficha litoral y los perfiles de playa realizado en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Fuente: Google Earth. Elaboración propia.**

En la Tabla 13 se muestra la información levantada en cada una de las fichas litorales recogidas durante el trabajo de campo. En el mismo punto donde se realizó la observación para la ficha, se llevaron a cabo los perfiles de playa.

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3
<i>Coordenadas geográficas (UTM)</i>	326014 E 8586768 S	0325417 E 858709 S	18 L 0325095 8585643
Características de la ola			
<i>Altura de la ola (m)</i>	2,15	1,78	1,35
<i>Promedio del periodo de la ola (seg.)</i>	12,53	8,6	9,7
<i>Angulo de incidencia</i>	25 °	10 – 20 °	20 °
<i>Rompiente</i>	En voluta / derrame	En voluta	En Derrame
Morfología de la playa			
<i>Ancho de la playa (m)</i>	170,00	121,50	133,50
<i>Características del perfil</i>	Erosivo	Erosivo	Erosivo
<i>Clasificación morfodinámica</i>	Disipativo	Reflectivas e intermedias	Disipativo
<i>Presencia de cúspides</i>	No están marcadas	Si, formas onduladas de grandes dimensiones	No se presentan
<i>Distancia de cúspides</i>	-	10 – 100 m.	-
<i>Tipo de sedimento</i>	Arena fina	Arena fina	Arena fina
Otros			
<i>Presencia de infraestructura</i>	Residencias retiradas de la línea de costa.	Residencias y malecón aproximadamente a 100 metros de la línea de costa.	Malecón, postes de luz y viviendas a más de 100 metros de la línea de costa.

**Tabla 13. Resumen de ficha litoral para los tres perfiles de playa del área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

Las observaciones mostraron que se trata de una playa muy homogénea, ya que la mayoría de las características observadas en los tres puntos son similares. Esto responde a la lógica de la célula litoral, puesto que al ser una misma unidad, los procesos que se llevan a cabo producen formas parecidas. Se observa una playa anterior amplia con un ancho superior a 100 m (Figura 24). Atrás de esta se puede encontrar una serie de viviendas, resguardadas por un pequeño muro y malecón. Además, toda la playa presenta arena fina, con cúspides poco marcadas o

inexistentes. La altura de la ola es mayor a los 1,3 m. en todos los casos, aunque se presentan periodos bastantes disimiles.



**Figura 24. Llanura litoral en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Foto propia.**

La playa es un espacio dinámico, por lo que se entiende que las características durante los meses de verano no serán las mismas que las observadas durante la salida de campo⁹. Es durante los meses de verano (diciembre-abril) que la población en la zona de estudio se incrementa, llegando a alrededor de 10 000 (Municipalidad Distrital de Asia, s.f.). Sin embargo, la infraestructura se mantiene todo el año, por lo que se debe considerar como esta se puede ver afectada en los meses de invierno que tienden a ser más erosivos.

En varias playas se pudo observar acumulaciones de arena o sacos rellenos con este material, apilados sobre los pequeños muros que dividen las viviendas de la playa. Esto remite a un medio de protección de la población frente a la dinámica litoral, mostrando que existe una vulnerabilidad frente a la llegada del mar hasta la zona donde se ubica la infraestructura. Es evidencia, también, de que el mar avanza más de 100 metros durante los meses de invierno. Al preguntarle a un trabajador del *club*, frente al cual se realizó uno de los perfiles, nos confirmó que las olas llegan hasta las casas en primera fila durante los meses de julio y agosto. Incluso cuando las viviendas se encuentren a una distancia mucho mayor que la establecida por la Ley de Playas (50 m.) (Congreso de la República, 2011).

⁹ La salida de campo se llevó a cabo el 4 de noviembre de 2012.

5.1.2 Perfiles de playa

Los perfiles de playa fueron llevados a cabo en el mes de noviembre por lo que se debe tomar en cuenta que se retrata las condiciones de la playa antes del inicio del verano.

El perfil de playa 1 (Figura 25) muestra un leve descenso del perfil desde el malecón hasta el 18 m. Posteriormente, vuelve a ascender formando una berma que se encuentra limitada por un escarpe entre los 60 m. y 70 m. El perfil desciende hacia el mar formando una segunda berma, 1,5 m. más abajo, entre los 70 y 140 m. del punto inicial. El perfil 1 cuenta con una clasificación morfodinámica disipativa, coincidiendo con el tipo de olas en derrame encontradas en este punto. Los datos recogidos para construir el perfil de playa 1 pueden encontrarse en el Anexo 9.3.

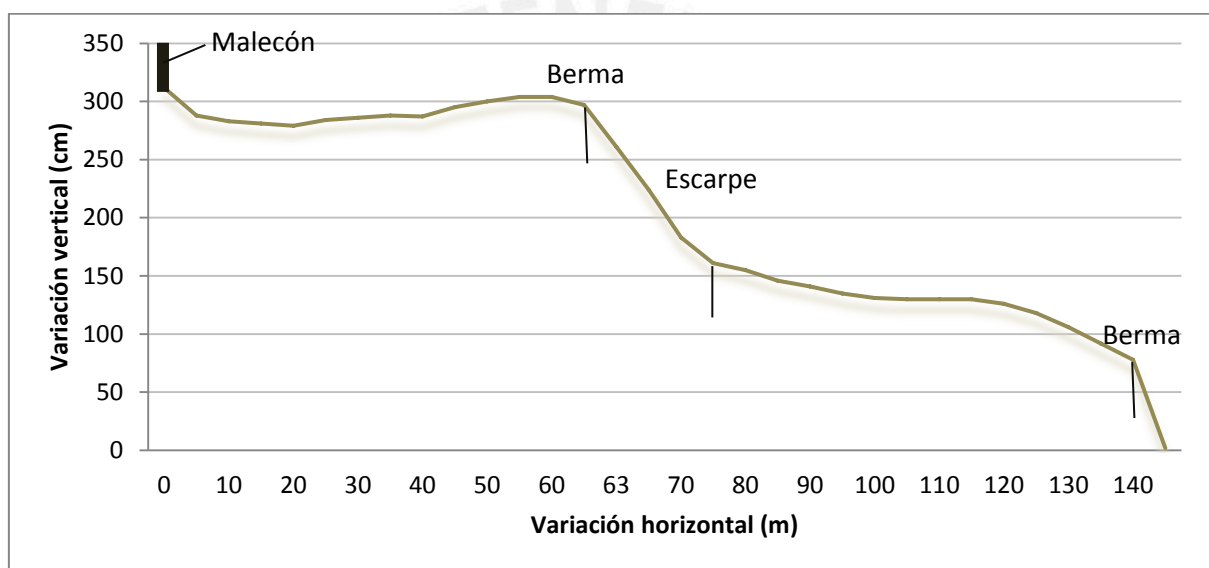


Figura 25. Perfil de playa 1 en el área de estudio 1 (Balneario de Asia). Exageración del eje Y en un ratio de 10:1. Elaboración propia.

El perfil de playa 2 (Figura 26) presenta una dinámica distinta a la que se encontró en el primer perfil. Hay un leve ascenso desde el punto de inicio (malecón) hasta los 27 metros de variación horizontal, donde se observa una berma. Le sigue un escarpe con mayor pendiente hasta los 42 m., seguidos de otra berma. Finalmente, se da un escarpe de gran pendiente llegando al mar. La segunda berma es una barra en movimiento desde la playa interior hacia la playa anterior. Entre ambas bermas, se ha generado un escarpe de 20 metros de largo y 45 centímetros de alto donde se acumula el agua del mar (Figura 27), formando una pequeña piscina. Por tanto, esto es evidencia de que las olas llegan a sobrepasar la barra durante las horas de alta marea.

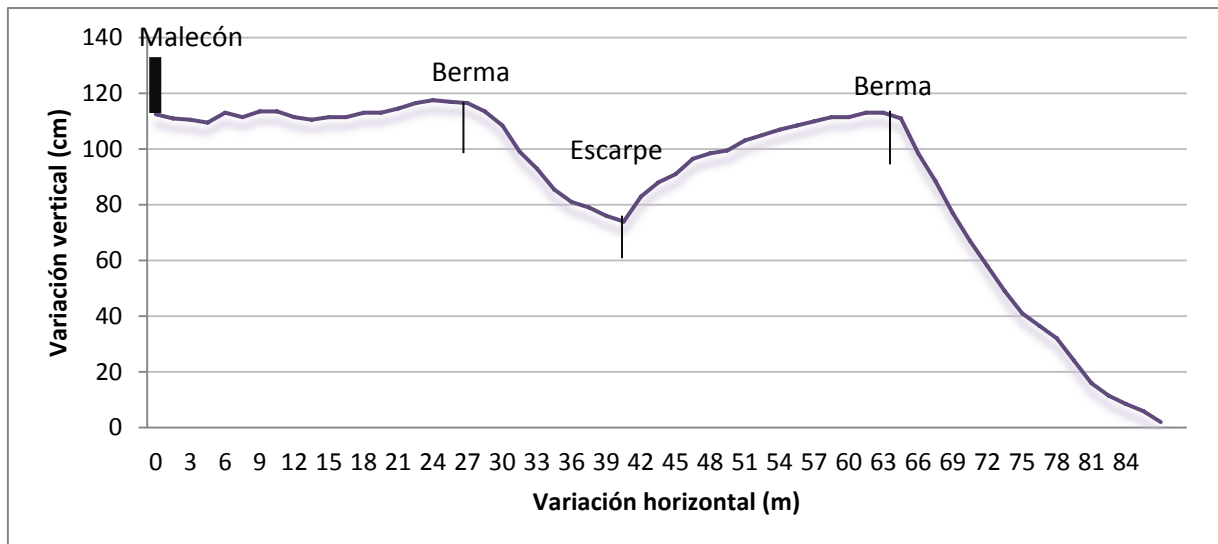


Figura 26. Perfil de playa 2 en el AE1, Balneario Asia. Exageración del eje Y en un ratio de 10:1. Elaboración propia.

El perfil de playa 2 corresponde a una playa que se encuentra entre la clasificación de disipativa a intermedia, y cuenta con olas que rompen en derrame y voluta. Los datos recogidos durante la salida de campo para generar el perfil de playa 2 pueden encontrarse en el Anexo 9.4.



Figura 27. Acumulación de agua del mar entre dos bermas en el perfil 2. Fuente: Romina Calderón

El perfil de playa 3 inicia desde el malecón con un pequeño ascenso hasta la distancia de los 9,45 m., a partir de los cual va bajando hacia el mar con una pendiente suave

formando una berma (Figura 28). A partir de los 94,5 m. en el eje horizontal se empieza a dar un ascenso, formando una segunda berma a los 115 m., que luego desciende con mayor pendiente hacia el mar. Los datos utilizados para armar el perfil de playa 3 pueden encontrarse en el Anexo 9.5. El tercer perfil de playa tiene una clasificación morfodinámica disipativa y olas con rompientes en derrame.

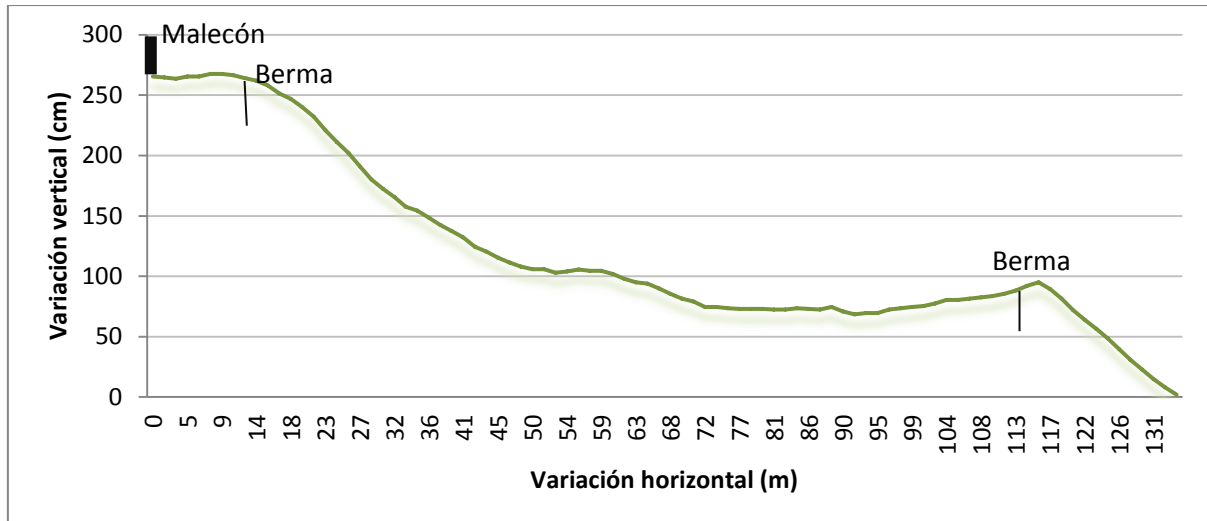
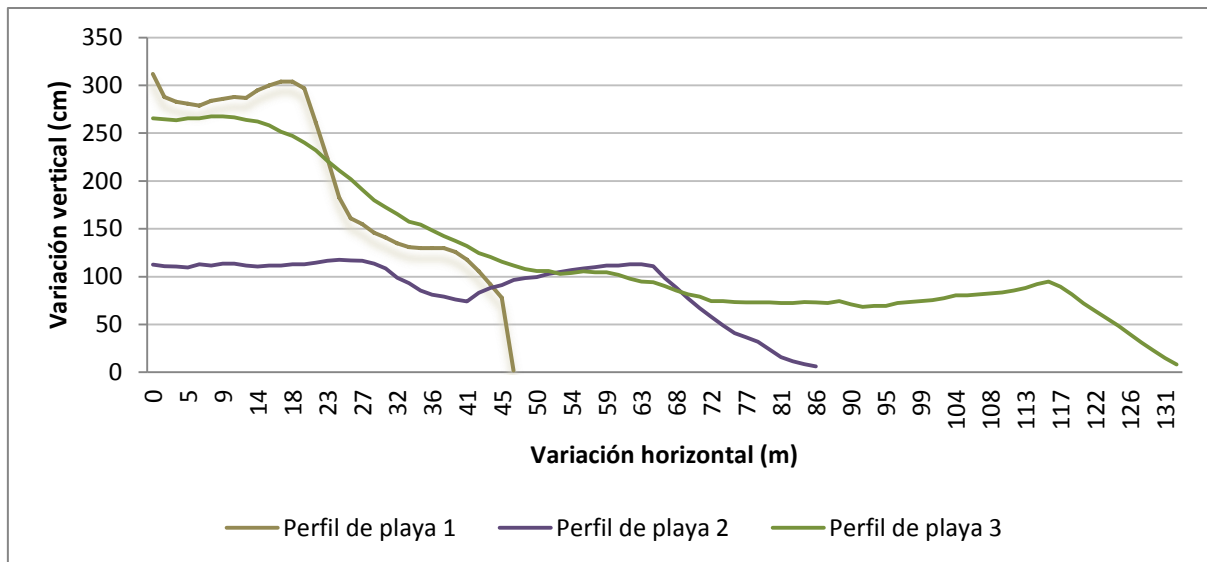


Figura 28. Perfil de playa 3 del área de estudio 1 (Balneario de Asia). Exageración del eje Y en un ratio de 10:1. Elaboración propia.

Se encuentra una mayor similitud del perfil 3 con el perfil 1, contando con una pendiente menos abrupta hacia el mar que en el perfil 2 (Figura 29).

En términos generales, se puede decir que todos los perfiles tienen grandes extensiones, y variaciones verticales pequeñas, aunque los gráficos muestren una mayor variación por la exageración en el eje Y. Como se mencionó, los perfiles 1 y 3 son disipativo, mientras que el perfil 2 corresponde a una playa que se encuentra entre la clasificación de disipativa a intermedia. Estas clasificaciones coinciden con los tipos de olas que forman las playas, los primeros corresponden con rompientes en derrame, mientras que el segundo presenta olas que rompen en voluta. El sedimento recolectado es fino, y aunque hay presencia de cúspides, estas son pequeñas y están distanciadas (presentan espaciamentos de 10, 100 o más metros).

La diferencia que se observa entre el perfil 2 con los perfiles 1 y 3, responde a la ubicación de este punto por detrás de la isla de Asia. La isla genera un cambio en la dinámica de las olas, lo que afecta la morfodinámica de la playa.



**Figura 29. Perfiles de playa 1, 2 y 3 del área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

Los resultados muestran que los 3 perfiles dentro de Asia son erosivos, aunque las pendientes no sean tan pronunciadas. Esto puede significar que están en una transición hacia perfiles constructivos o de deposición. Tales resultados siguen la lógica de los ciclos de la playa, encontrándose, durante la toma de datos, en una época de transición entre el periodo de erosión y de deposición. Como la data para el armado de los perfiles fueron hechos durante el mes de noviembre se espera pasar a un perfil más constructivo durante diciembre, siendo este el inicio del mes de verano.

5.2 Información obtenida en el gabinete

La información recogida en el gabinete consta de dos partes. Por un lado, el análisis espacio-temporal realizado para el AE1, con el fin de conocer la variación de la línea de costa de esta zona litoral en el tiempo. Por otro lado, se levantó el resto de la información necesaria para los índices a través de fuentes secundarias.

5.2.1 Margen de error

A partir de la información recabada en los perfiles de playa, se calculó que el margen de error para la variabilidad de la línea costera en promedio es de 44,43 m. El mayor margen de error se da en el perfil 2, con 57,09 m., mientras que el menor se encuentra en el perfil 3, con 36,62 m. Los datos y resultados utilizados pueden observarse en la Tabla 14.

Perfil de playa	Pendiente del perfil (α) (°)	Amplitud máxima de la marea (Z) ¹⁰ (m)	Variación horizontal de la marea (D) (m)	Margen de error estimado (m)
Perfil de playa 1	1,049	1,45	79,192	+/- 39,596
Perfil de playa 2	0,728	1,45	114,173	+/- 57,087
Perfil de playa 3	1,135	1,45	73,232	+/- 36,616
			Promedio	44,433

**Tabla 14. Resultados del margen de error para los perfiles de playa del área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

Los datos utilizados para calcular la pendiente del perfil pueden encontrarse en el Anexo 9.6.

5.2.2 Análisis espacio temporal – Balneario de Asia

Las Figuras 30 y 31, presentan la variabilidad de la línea de costa para el AE1 (Balneario de Asia). Se observa que las líneas de costa construidas para cada año se sobrepone unas con otras a través de todo el litoral tanto en la zona norte como en la zona sur, mostrando que no hay mayor variación en la posición de la línea de costa entre 1969 y 2007 para la AE1. Sin embargo, en ciertas zonas hay un pequeño avance de la línea de costa para el año 2007, como se puede observar en la parte sur de la zona norte (Figura 30). Además, el análisis espacio-temporal no muestra influencia antrópica o efectos de eventos naturales, aduciendo una estabilidad de línea de costa.

Las Figuras 30 y 31 también muestran la línea base y transectos generados a través de la aplicación del DSAS, a partir de los cuales se obtuvo el promedio de los índices encontrados en la Tabla 15. Los datos completos pueden encontrarse en el Anexo 9.7.

	EPR	SCE	NSM
Promedio	0.779	35.443	29.571

**Tabla 15. Resultados del análisis del Digital Shoreline Analysis System para el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

¹⁰ Dato obtenido de la Dirección de Hidrografía y Navegación del Perú para la zona del Callao, tomando el Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO), cuyos valores han sido calculados en base a la data histórica de las Estaciones Mareográficas (Dirección de Hidrografía y Navegación, 2006).



**Figura 30. Variación de la línea de costa norte en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**



**Figura 31. Variación de la línea de costa sur en el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

El *Shoreline Change Envelope* (SCE) o Amplitud del desplazamiento, representa la distancia entre la línea de costa más lejana y la línea de costa más cercana de la línea base, en cada transecto. Por tanto, muestra el cambio total en el movimiento de la línea de costa, sin tomar en cuenta los años representados. El promedio para todos los transectos es de un avance de 19,80 m.

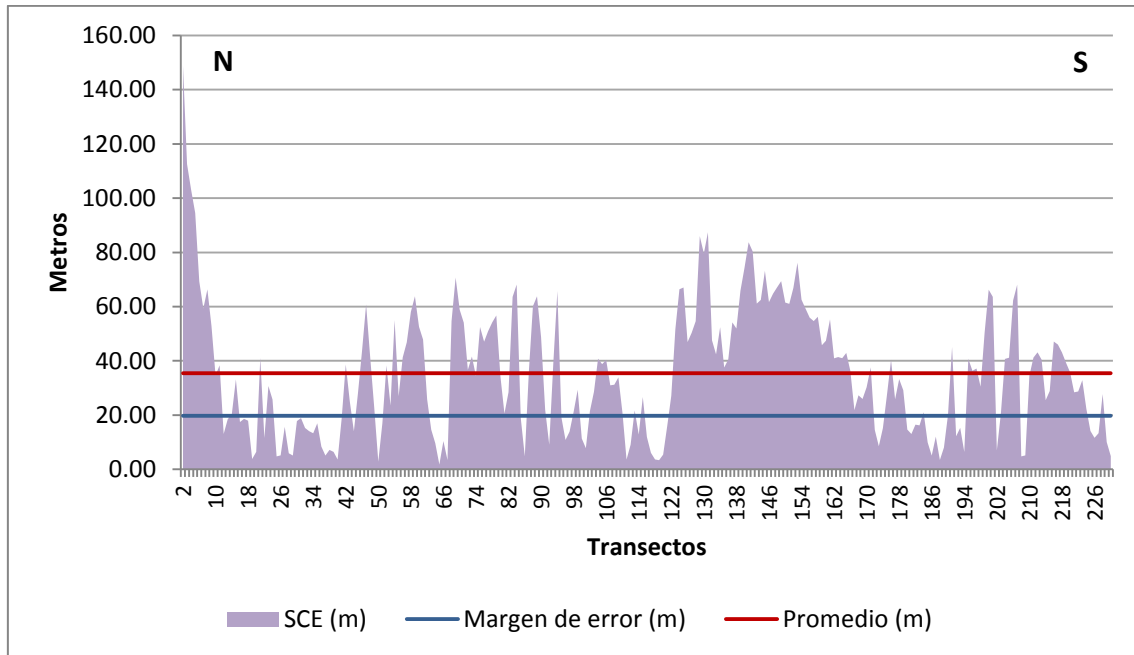
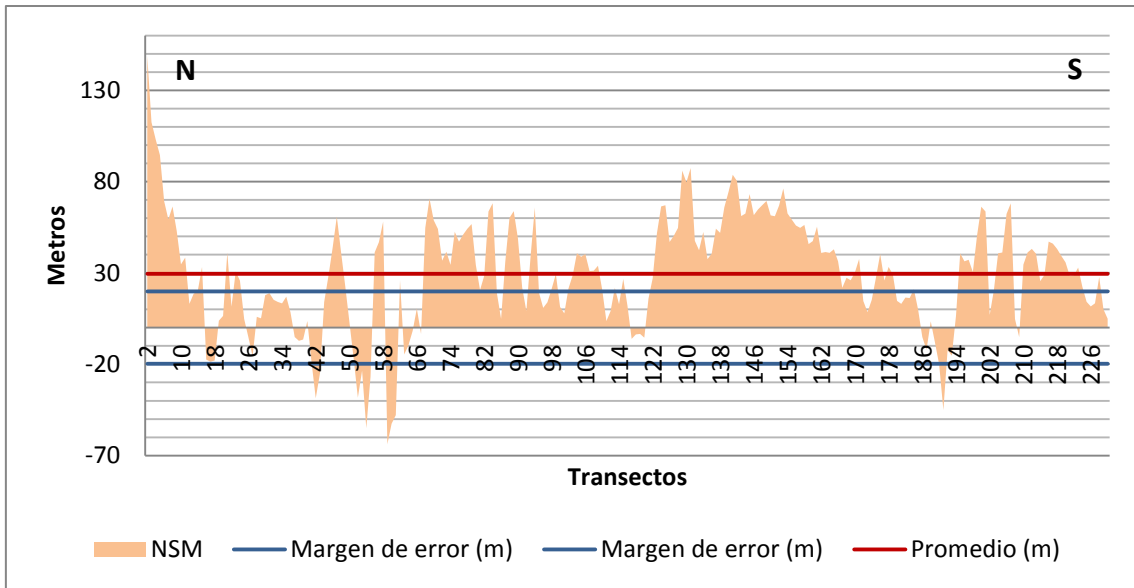


Figura 32. Amplitud de desplazamiento (SCE) entre 1969 -2007 para el área de estudio 1 (Balneario de Asia). Elaboración propia.

La Figura 32 muestra que la amplitud de desplazamiento dentro del AE1 (Balneario de Asia), donde el eje horizontal muestra los transectos y el vertical la distancia entre las líneas de costa más alejadas. Existe una gran variabilidad entre los desplazamientos mayores, que sobrepasan los 140 m., y los menores, bajo los 2 m. El margen de error (39,60 m.), implica un movimiento natural de la línea de costa hacia la playa y hacia el mar, el cual se divide de forma superior e inferior sobre la línea de costa (eje X), considerando 19,80 m. para cada lado. Todos los valores observados para la amplitud de desplazamiento en el AE1 son positivos. Considerando que el 68,1 % de los datos superaron al margen de error, se puede considerar la existencia de un avance de la línea de costa.

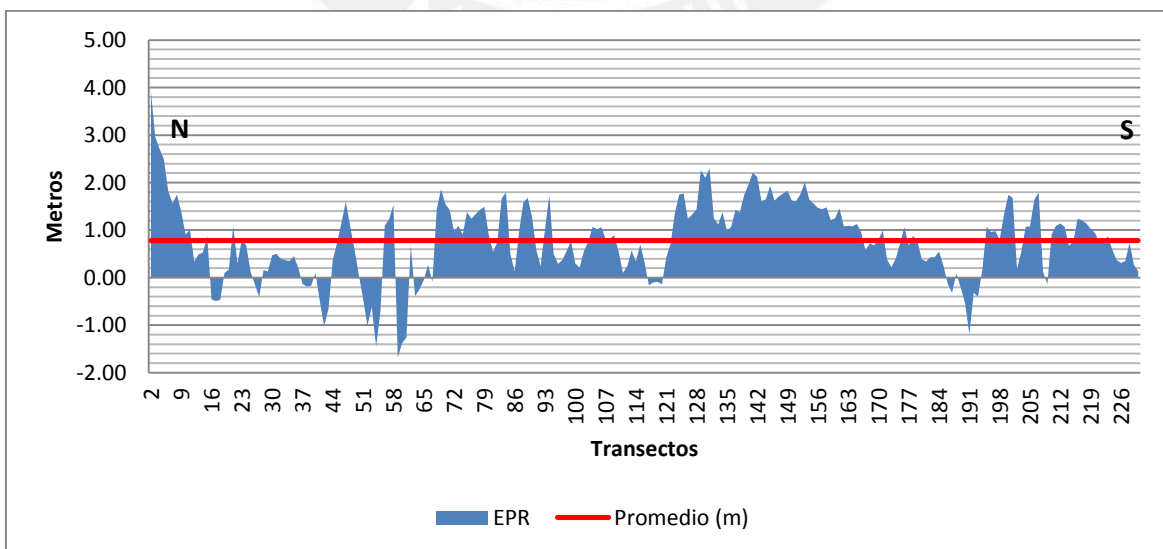
Otro parámetro trabajado fue el *Net Shoreline Movement* (NSM) o Movimiento Neto de la línea de costa. Este representa la distancia total entre la línea de costa más joven y la más vieja. En el caso de Asia la distancia entre 1969 y 2007. Por tanto, este parámetro si considera el factor temporal, en comparación con el SCE.



**Figura 33. Movimiento neto de la línea de costa (NSM) entre 1969 – 2007 para el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

La Figura 33 plantea que entre 1969 y 2007 hay un movimiento principalmente positivo, ya que 63,3 % de los transectos analizados se encuentran por encima de la variación natural de la marea. Se puede asumir, por lo tanto, que hay una tendencia de sedimentación. Sin embargo, en la zona norte se observa que la línea de costa ha sufrido un retroceso en el tiempo del estudio, sobrepasando el margen de error.

El tercer parámetro analizado fue el de la Tasa de cambio final o *End Point Rate* (EPR). El EPR se obtiene dividiendo el NSM entre el tiempo transcurrido entre la línea más antigua y más nueva. Por tanto, el resultado nos muestra la distancia de la línea de costa, en cada transecto, por año (Figura 34).



**Figura 34. Tasa de cambio final (EPR) entre 1969-2007 para el área de estudio 1 (Balneario de Asia).
Elaboración propia.**

Como en el caso del NSM, los resultados del EPR, muestran una tendencia general de deposición de sedimentos. Sin embargo, se encuentran zonas pequeñas con una tendencia hacia la erosión, especialmente en el sector norte, donde se sobrepasa una tasa de retroceso de 1,5 m. al año. Las zonas de erosión se ubican en áreas que probablemente se ven erosionadas por la influencia de las olas.

El resultado en promedio de toda la playa de Asia es de un avance 0,78 metros/año, lo que refuerza la idea de un proceso general de deposición en el balneario.

5.3 Índice de vulnerabilidad costera

La Tabla 16 cuenta con cada uno de los datos que fueron obtenidos para las áreas de estudio.

VARIABLES	AE 1: Balneario de Asia	AE2: Bahía de Miraflores	AE 3: Chorrillos
VARIABLES FÍSICAS			
Pendiente de la playa (%)	0,971	6,67	4,57
Altura media de la ola (m)	1,76	0,84	0,47
Geomorfología/geología	Playa amplia y poco elevada cubierto por sedimentos de arena fina. Cuenta con una isla en frente.	Acantilado costero, con playas pequeñas constituidas por diversos tipos de sedimentos, incluyendo: arenas, gravas, cantos, terrapién y rocas.	Planicies costeras amplias cubiertas por sedimentos de arenas y gravas.
Variabilidad de la línea de costa (m/año)	0,78	0,96	0,39
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS			
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m)	141,67	30,18	84,5
Densidad poblacional (hab/km ²)	13,64	8 084,62	7 369,72
Uso del suelo	Concentración de viviendas de segunda residencia, con un pequeño muro y malecón al frente.	Espacios de esparcimiento, restaurantes y una avenida principal (vía rápida). Infraestructura espaciada.	Clubs de esparcimiento privado, planta de tratamiento de aguas residuales (La Chira), pantanos y viviendas de primera residencia.

**Tabla 16. Datos de las áreas de estudio por variable.
Elaboración propia.**

Como se mencionó anteriormente se ha construido mucha de esta data para el

Balneario de Asia (AE1), mientras que para la Bahía de Miraflores (AE2) y Chorrillos (AE3) la información principalmente fue obtenida de fuentes secundarias.

A partir de la información recogida en la tabla anterior, se marcó el puntaje correspondiente a cada área de estudio. El Anexo 9.8 muestra el ejercicio realizado para cada uno de las áreas utilizadas en esta investigación. Un resumen de los resultados se observa a continuación (Tabla 17).

VARIABLES	AE 1: Balneario de Asia	AE2: Bahía de Miraflores	AE 3: Chorrillos
VARIABLES FÍSICAS			
Pendiente de la playa (°)	5	2	3
Altura media de la ola (m)	4	2	2
Geomorfología/geología	4	2	5
Variabilidad de la línea de costa (m/año)	3	4	4
VARIABLES socio-económicas			
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m)	3	5	4
Densidad poblacional (hab/km ²)	1	5	5
Uso del suelo	3	2	5

Tabla 17. Puntajes obtenidos según el Índice de Vulnerabilidad Costera para cada área de estudio.

Elaboración propia.

Con la asignación de los puntajes de la Tabla 17 se calculó el IVC para las variables físicas, las socio-económicas y el conjunto total. Los resultados se observan en la Tabla 18.

El IVC físico muestra que el Balneario de Asia es el más vulnerable en términos de las condiciones naturales de la playa. Obtuvo un puntaje de 7,75, el cual está muy por encima del 5,48 de Chorrillos y el 2,83 de la Bahía de Miraflores. El resultado en Asia responde, principalmente, a la baja pendiente de la playa (0,97 °) lo que implicó un puntaje 5 por su alta vulnerabilidad; la gran altura de sus olas, por encima de 1,6 m., y su geomorfología le dieron, además, 4 puntos respectivamente. Por el contrario, la variabilidad de su línea de costa es moderada, puesto que no se encontró mayor cambio en el análisis espacio-temporal. La pendiente de playa en el caso de la Bahía de Miraflores y de Chorrillos es baja y moderada, respectivamente, al tener un ángulo mayor de 4°. La altura de las olas también es menor, dando una baja vulnerabilidad, en ambas áreas de estudio. Sin embargo, hay una importante diferencia en términos de la geomorfología. Mientras que los acantilados reducen la vulnerabilidad de la Bahía de Miraflores (AE2), los pantanos de Villa la incrementan para Chorrillos (AE3), que obtuvo un puntaje de 5. No obstante, tanto la Bahía de Miraflores como Chorrillos

tienen una mayor variabilidad de la línea de costa observándose erosión de la playa en ambos casos.

VARIABLES	AE 1: Balneario de Asia	AE2: Bahía de Miraflores	AE 3: Chorrillos
IVC físico	7,746	2,828	5,477
IVC socio-económico	1,732	4,082	5,774
IVC	17,566	15,119	41,404

Tabla 18. Resultados del Índice de Vulnerabilidad Costero físico, socio-económico y total para las áreas de estudio.

Elaboración propia.

En términos de las variables socio-económicas Chorrillos es el área con mayor vulnerabilidad, obteniendo 5,77 puntos. La Bahía de Miraflores le sigue con 4,08, mientras que el Asia obtuvo un resultado de 1,73. Chorrillos contó con el puntaje más alto ya que en todas las variables tiene una vulnerabilidad alta o muy alta. La distancia de la línea de costa con las estructuras está por debajo de los 110 m., recibiendo un puntaje de 4, y su alta densidad poblacional, le implicó un puntaje de 5. La variable uso del suelo es también alta, principalmente porque dentro de la zona se ubica la planta de agua La Chira, infraestructura costera de gran importancia para la gran población de Lima Metropolitana.

Aunque haya recibido un puntaje menor en el IVC socio-económico, la Bahía de Miraflores, obtiene resultados de una alta vulnerabilidad para dos de sus variables. La distancia de sus infraestructuras está por debajo de los 50 m., al mismo tiempo que cuenta con una densidad poblacional muy por encima de los 5 000 habitantes por km². Sin embargo, el uso de suelo por debajo del acantilado ha sido clasificado con una baja vulnerabilidad, puesto que la infraestructura se encuentra espaciada y son principalmente espacios recreativos o de tránsito.

El Balneario de Asia cuenta con una vulnerabilidad socio-económica de moderada a baja. La distancia de su infraestructura con respecto a la línea de costa está por sobre los 110 m. que le da un puntaje de 3. Además, el uso de suelo también consigue una vulnerabilidad moderada al tener infraestructura concentrada, pero sin espacios prioritarios. Se trata principalmente de viviendas de segunda residencia. La densidad poblacional del distrito está por debajo de los 50 habitantes por kilómetro cuadrado, lo que implica una muy baja vulnerabilidad.

Finalmente, se corrió la fórmula del IVC incluyendo tanto las variables físicas como las socio-económicas. El AE más vulnerable, con un margen de más de 20 puntos, fue Chorrillos (AE3) con 41,40. Le siguió el Balneario Asia con 17,57 y la Bahía de Miraflores con 15,12. Si bien hay más variables físicas que socio-económicas en el índice, las vulnerabilidades socio-económicas de Chorrillos tuvieron un peso

importante sobre el resultado final. Pero se debe recalcar que el AE3 cuenta con una vulnerabilidad tanto de las condiciones físicas de la playa como en el asentamiento humano sobre la zona costera. El Balneario de Asia, en cambio, responde principalmente a sus vulnerabilidades físicas, obteniendo la menor vulnerabilidad socio-económica de las tres zonas estudiadas. Los resultados finales de la Bahía de Miraflores muestran una baja vulnerabilidad general en comparación con las áreas anteriores. A pesar del resultado se debe notar que al ser un promedio no todas las variables cuentan con una baja calificación. En términos socio-económicos obtuvo una alta vulnerabilidad por la cercanía de la infraestructura al nivel medio de la marea y su alta densidad poblacional.

Debido a la relatividad de los resultados al compararse entre ellos únicamente, se estableció la necesidad de analizarlos dentro de una escala de vulnerabilidad. La escala se construyó a partir de las mismas ecuaciones propuestas para los IVC, donde se tomaron los valores máximos y mínimos posibles para cada uno de ellos. Con estos valores se determinó la amplitud de la variación de resultados, la cual se dividió en 5 partes iguales, otorgándole a cada rango una escala de vulnerabilidad del 1 al 5, desde muy baja hasta muy alta vulnerabilidad, respectivamente. Esta escala se basó en la establecida para las variables de los IVC. La Tabla 19 muestra los rangos determinados para la clasificación de vulnerabilidad para los tres IVC desarrollados.

<i>Vulnerabilidad</i>	<i>IVC</i>	<i>IVC físico</i>	<i>IVC socio-económico</i>
1 - Muy bajo	0,4 – 21,3	0,5 – 2,8	0,6 – 1,7
2 - Bajo	21,4 - 42,4	2,9 - 5,2	1,8 - 2,8
3 - Moderado	42,5 – 63,4	5,3 – 7,6	2,9 – 4,0
4 - Alto	63,5 - 84,5	7,7 - 10,0	4,1 - 5,2
5 - Muy alto	84,6 – 105,6	10,1 – 12,5	5,3 – 6,5

Tabla 19. Rangos de clasificación de la vulnerabilidad para los tres Índices de Vulnerabilidad Costeros.
Elaboración propia.

La aplicación de la escala a las áreas de estudio analizadas se muestra en la Figura 35. La clasificación propone que para el IVC todas las AE cuentan con una baja o muy baja vulnerabilidad. El Balneario de Asia y la Bahía de Miraflores cuentan con una muy baja vulnerabilidad (rango 1), mientras que Chorrillos tiene una baja vulnerabilidad (rango 2). En el caso de IVC físico Asia obtuvo un 4, lo que implica una vulnerabilidad alta, mientras que Chorrillos una vulnerabilidad moderada y la Bahía de Miraflores una vulnerabilidad baja. Para el caso del IVC socio-económico, Chorrillos, se ubica en el rango de vulnerabilidad muy alto (5), y la Bahía de Miraflores en el alto (4). El Balneario de Asia por el contrario tiene una vulnerabilidad muy baja (2).

6 DISCUSIÓN

Los resultados del índice rechazaron la primera hipótesis, donde se planteaba que el Balneario de **Asia tendría una vulnerabilidad menor que los otros sectores costeros de Lima donde se aplica el índice, debido a la existencia de una reducida cantidad de infraestructura humana que pueda afectar las dinámicas naturales.** Los resultados muestran al compararse que en términos generales Asia es el área de estudio con la segunda vulnerabilidad más alta; si bien su vulnerabilidad es mucho menor a la de Chorrillos, ha obtenido un puntaje mayor que la Bahía de Miraflores.

El distrito de Asia cuenta con una reducida infraestructura humana que pueda afectar las dinámicas naturales de la playa; no obstante, el índice mostró que cuenta con la vulnerabilidad física más alta, incluso cuando la Bahía de Miraflores y Chorrillos son espacios costeros donde ha habido muchas modificaciones humanas, incluyendo la construcción de espigones y el agregado de material a la base del acantilado (Leceta, 2009). Esto responde a las condiciones naturales de la playa, con una baja pendiente y una altura media de la ola mayor. Además, en todos los casos se observó una estabilidad de la línea de costa.

La clasificación final de vulnerabilidad, mostrada en las Figura 35, también rechaza la primera hipótesis, puesto que todas las AE fueron clasificadas con una vulnerabilidad baja o muy baja. Esto se corrobora en el IVC físico, donde el Balneario de Asia obtuvo una clasificación de alta vulnerabilidad, mientras que la Bahía de Miraflores cuenta con una vulnerabilidad muy baja, y Chorrillos con una vulnerabilidad moderada. Por el contrario, el IVC socio-económico la clasifica como un área de vulnerabilidad muy baja, mientras que las otras zonas tienen una vulnerabilidad alta o muy alta.

En el caso del IVC físico, las variables incluidas responden a información levantada de la propia zona de estudio. No obstante, los periodos de recojo de la información fueron distintos. En el caso del cálculo de la variabilidad de la línea de costa, por ejemplo, se llevó a cabo un análisis temporal en diferentes periodos: en la Bahía de Miraflores, el análisis se basa en 63 años (entre 1936 - 1999), mientras que en Chorrillos en 72 años (entre 1938 - 2008) y en el Balneario de Asia en 38 años (entre 1969 - 2007). Asimismo la elaboración de los perfiles de playa se dio en momentos y estaciones distintas, a partir de donde se obtuvo los datos para la pendiente de la playa. Aunque esto dificulte la comparación, en términos generales los datos permiten tener una buena interpretación de las condiciones naturales de las playas.

En términos de la vulnerabilidad socio-económica, el Balneario de Asia cuenta con el

menor puntaje en comparación con las otras dos áreas de estudio consideradas en la investigación. En este sentido, la población asentada en este espacio, aunque transitoria, ha podido reducir su vulnerabilidad, principalmente debido a una baja densidad poblacional. Debe considerarse, no obstante, que la información utilizada corresponde a la densidad poblacional del distrito, la que no necesariamente representa la realidad de la zona de estudio. Este dato se utilizó debido a la falta de información disponible en la escala trabajada, y por no haber un procedimiento que permitiese calcular la densidad poblacional de igual manera en todas las AE. La densidad en el AE1 es muy variable, puesto que durante los meses de invierno está prácticamente desierto, mientras que en verano puede llegar a acoger a más de 10 000 personas (Municipalidad Distrital de Asia, s.f.); durante el verano la densidad poblacional es mayor que la del distrito, y en el invierno se estima que menor, por lo que existe una variabilidad dependiente de las estaciones del año. Tanto el AE2 y el AE3 presentaron dificultades similares en términos de la densidad poblacional. Son, también, zonas recreativas que durante el verano incrementan la concentración de visitantes. No obstante, al ser parte de Lima Metropolitana la población residente se mantiene más constante durante el año. En el caso de la AE2, la Bahía de Miraflores, se observa que por debajo de los acantilados no hay viviendas, por lo que se podría estimar una baja densidad, debido a la presencia, únicamente, de población “flotante”. Pero esta baja densidad es relativa, ya que no estaría considerando la población que transita, trabaja o utiliza la Costa Verde para realizar actividades recreativas. La densidad poblacional es una variable necesaria pues permite incluir la cantidad de población concentrada que podría verse afectada por un peligro, pero que debe ser utilizada con precaución ya que cuenta con diversos inconvenientes, y por no haber data disponible a mayor escala que el nivel distrital en el Perú.

La variable uso de suelo recibió para Asia un puntaje moderado ya que solo se encuentra una concentración de casas de segunda residencia. En comparación, Chorrillos fue calificado como muy vulnerable (5 puntos) al contar con diversos elementos que frente a un peligro tendría consecuencias de mayor envergadura. Esto incluye una planta de tratamiento de agua, La Chira, zona residencial de primer orden, así como el Área Natural Protegida (ANP) de los Pantanos de Villa.

Como se expone, la calidad y precisión de la información varía según la variable y la zona de estudio. Pero es importante notar que existe una buena recolección de información en la mayoría de casos, ya que fueron recogidas *in situ* durante esta investigación o en investigaciones previas. En el caso de la variabilidad de la línea de costa, fue trabajada en base a fotos aéreas, información satelital y cartografía, lo que también permitió recoger información temporal de primera mano.

Se puede decir que la segunda hipótesis de la investigación fue probada en parte, ya que **el IVC permitió comparar la vulnerabilidad de diferentes sectores de la costa de Lima, mostrando las características físicas o socio-económicas que tienen mayor influencia sobre la vulnerabilidad**; pero existiendo espacio para ajustar y perfeccionar el método propuesto a partir de este ensayo metodológico.

El IVC permitió analizar la vulnerabilidad de las AE estudiadas en términos físicos, socio-económicos y como una combinación de ambos, dando resultados que permitieron compararlas y clasificarlas.

Como se mencionó previamente, se consideró necesaria la inclusión de data socio-económica, en conjunto con las variables físicas, para tener una mejor visión de la vulnerabilidad en una zona determinada, tal como sugieren Duriyapong y Nakhapakorn (2011). En el caso del IVC presentado, se incluyó una variable física más (4 variables) que socio-económica (3 variables). Por tanto, el peso de las variables físicas tuvo mayor influencia sobre el IVC final. Sin embargo, se observó que los resultados del IVC físico fueron más similares entre si que en los obtenidos con el IVC socio-económico. Inclusive al clasificarlos, el IVC socio-económico obtuvo valores en las clasificaciones 1 (muy baja vulnerabilidad) y 5 (muy alta vulnerabilidad), donde el AE1 cuenta con una vulnerabilidad muy baja, mientras que el AE3 con una muy alta.

Asimismo, se debe considerar que los IVC utilizaron el mismo peso para todas las variables. No se consideró, por tanto, que algunas podrían tener mayor influencia dependiendo de la amenaza a la que se enfrenten. Por ejemplo, la distancia de las estructuras con el nivel medio de la marea tiene una importante influencia sobre la dinámica natural costera, y por tanto sobre la vulnerabilidad de las poblaciones frente a la amenaza de la erosión costera. A mayor cercanía de la infraestructura la morfología de la playa, incluyendo su pendiente, pueden verse distorsionadas. Pese a ello, la distancia de las estructuras cuenta con el mismo peso que el resto de las variables. Sería importante, que la herramienta se desarrolle en el tiempo permitiendo otorgar pesos diferenciados a las variables incluidas para lograr resultados más precisos. No obstante, la igualdad del peso de las variables permite reducir la complejidad de la herramienta y sus costos, siendo estas algunas de sus principales ventajas, pues la hace más accesible a un mayor número de personas, y reduce la influencia del investigador sobre los resultados (Ozyurt y Ergin, 2010).

Cabe resaltar que los índices permiten obtener resultados objetivos que minimizan las percepciones del investigador, planteando una comparación de data con evidencias. Las variables permiten generar resultados imparciales en la comparación de la vulnerabilidad. No obstante, existen conceptos que son difíciles de incluir dentro del índice. Por ejemplo, las estrategias de adaptaciones existentes o previstas son

cruciales para una evaluación realista del nivel de riesgos residuales a los que se ve enfrentada una población costera. Sin embargo, una simulación realista de la adaptación es compleja, y las decisiones humanas no son totalmente predecibles. Esto se aplica, en especial, al considerar el tema del cambio climático (Ramieri, et al., 2011). Pero se debe examinar, también, que la información incluida en las variables físicas está comprendida en un periodo mayor de tiempo, incluyendo la variabilidad temporal. En comparación, las variables socio-económicas muestran un momento específico en el tiempo. La vulnerabilidad no es estática, y cambiará dependiendo de la conducta de los seres humanos y las condiciones naturales. Por tal motivo, el IVC se puede considerar un indicador estático de las condiciones de las zonas de estudio en un momento específico en el tiempo, en lugar de una representación de un fenómeno que es versátil en el tiempo (Boruff et al., 2005). Además, es importante tomar en cuenta en qué momento se recogió la data. Utilizar información desactualizada en las variables podría generar una distorsión de los resultados.

Como se describe en la metodología, la elección de variables se basó en la disponibilidad de información y la aplicabilidad de ellas para la Región Lima. En el caso de las variables socio-económicas, no se utilizaron variables como la herencia cultural, la presencia de áreas protegidas o las principales vías, entre otras. Principalmente se debió a que no era información que podía ser fácilmente aplicable en la zona de estudio. En el caso de las variables físicas, Ozyurt y Ergin (2010) incluyeron en su estudio la tasa de aumento del nivel del mar. Si bien se trata de un concepto relevante, esta variable no pudo ser considerada para estudios en el Perú, al no existir un dato oficial y confiable que permita su incorporación. Finalmente, se priorizó la elección de variables que permitieran contar con información existente o que pudiese ser construida.

Es importante notar que cualquiera de las variables físicas o socio-económicas, o la colectividad de ellas, representan una conceptualización de vulnerabilidad como una medida de la exposición frente al peligro (Duriyapong y Nakhapakorn, 2011). Esta conceptualización es relativa, pues los resultados por si solos, únicamente permiten comparar las áreas de estudio incluidas en la investigación. Además, la obtención de un resultado para cada área de estudio implica promediar la puntuación y vulnerabilidad de cada variable.

Para resolver la relatividad de los resultados se propuso la clasificación de vulnerabilidad, al considerar los rangos mayores posibles de los índices y la ubicación de los resultados dentro de los mismos. De esta manera los resultados permiten mejorar la conceptualización de la vulnerabilidad. Sin embargo, la clasificación propuesta también presenta resultados suavizados, especialmente en el caso del IVC total, ya

que al unir los resultados del IVC físico y socio-económico el resultado final se ve promediado. Por ejemplo, la Bahía de Miraflores (AE2), muestra una vulnerabilidad socio-económica alta, y una vulnerabilidad física muy baja; al juntar ambos resultados para el IVC final, la vulnerabilidad es muy baja, lo que implica una reducción considerable de la vulnerabilidad física. De forma similar el Balneario de Asia (AE1) cuenta con una vulnerabilidad socio-económica muy baja, una vulnerabilidad física alta, mientras que la vulnerabilidad total se clasifica como muy baja.

La investigación solo consideró tres áreas de estudio de Lima, debido a una falta de recursos y tiempo, y por tratarse de un primer ensayo metodológico. No obstante, una aplicación del IVC a toda la Región Lima podría contribuir a disminuir aún más la relatividad de los resultados e incrementar la eficacia de la herramienta.

Los resultados de los IVC y la clasificación planteada para ellos establecen una vulnerabilidad que comprende a toda un AE. Existen variaciones internas en la vulnerabilidad de cada zona que no fueron consideradas al no existir datos a una escala que permitiera una comparación interna, y debido a que las AE están comprendidas dentro de células litorales que están necesariamente relacionadas por sus dinámicas litorales internas. Es necesario notar que los límites establecidos para el estudio no implican un corte tan determinante en términos de vulnerabilidad. Tanto en AE contiguas, como dentro de las propias AE existen matices en términos de vulnerabilidad que deben ser considerados (Ozyurt y Ergin, 2010).

La evaluación de la vulnerabilidad costera, a través del IVC, asume una perspectiva antropogénica; pero no toma en consideración las condiciones ecológicas necesarias para considerar una sostenibilidad completa de la zona costera. Por ejemplo, la protección a través de las infraestructuras costeras puede reducir la erosión o inundaciones, constituyéndose como un factor de reducción de la vulnerabilidad para la población. Pero al mismo tiempo puede ser contraproducente para los procesos ecológicos y la dinámica de los ecosistemas (Ramieri et al., 2011).

7 CONCLUSIONES

Los resultados del IVC aplicado en esta investigación mostraron que Chorrillos (AE3) cuenta con la mayor vulnerabilidad, seguido por el Balneario de Asia (AE1) y finalmente por la Bahía de Miraflores (AE2). Estos resultados responden a una alta vulnerabilidad en la mayoría de las variables en Chorrillos. En términos de la vulnerabilidad física, el mayor puntaje lo obtuvo Asia, mientras que para la vulnerabilidad socio-económica, Chorrillos obtuvo el mayor puntaje. La morfología natural de Asia la hace más propensa a la erosión costera, al ser una playa amplia y de poca pendiente, aunque esta todavía no se observe. En cambio, en el caso de los factores socio-económicos cuenta con una muy baja vulnerabilidad, pues la población se encuentra asentada lejos de la línea de costa, principalmente siendo casas de segunda residencia. La Bahía de Miraflores es el área de estudio menos vulnerable, aunque obtuvo un alto puntaje en alguna de sus variables: la corta distancia de la infraestructura con la línea de costa y la alta densidad poblacional en el distrito.

La aplicación del IVC en tres zonas de la Región Lima ha mostrado ser una herramienta útil para conocer la vulnerabilidad de estas zonas costeras, permitiendo comparar e identificar tanto la vulnerabilidad física como la socio-económica. Además, el índice permitió reconocer las principales variables que aumentan la vulnerabilidad a través de resultados objetivos. Si bien las variables utilizadas dependieron de la disponibilidad de información, permiten una buena aproximación a la vulnerabilidad costera que enfrentan las áreas de estudio.

Debido a la relatividad de los resultados se armó una clasificación de vulnerabilidad que permitiera representarlos en una escala de muy baja vulnerabilidad (1) a muy alta vulnerabilidad (5). La clasificación mostró que todas las AE cuentan con una vulnerabilidad general baja o muy baja. Sin embargo, estos resultados han sido suavizados al promediar los resultados del IVC físico y el socio-económico: mientras que para el IVC físico Asia (AE1) se clasifica con una muy baja vulnerabilidad, la Bahía de Miraflores (AE2) con una vulnerabilidad moderada y Chorrillos (AE3) como una vulnerabilidad muy alta; en el caso del IVC socio-económico Asia tiene una vulnerabilidad alta, Miraflores baja y Chorrillos moderada.

Este ensayo metodológico permite probar el funcionamiento de una propuesta de índice para determinar la vulnerabilidad de zonas costeras, profundizando en la influencia de las condiciones física y socio-económica. Se escogió la Región Lima para la aplicación del IVC por la disponibilidad de información encontrada y análisis previos ya hechos en las AE. Si bien los resultados de este primer ensayo muestran interesantes conclusiones, al mismo tiempo, manifiestan la necesidad de optimizar el

IVC. Se espera que el desarrollo de esta herramienta permita analizar de forma más eficaz la vulnerabilidad costera de toda la Región Lima y sea un prime insumo en la construcción de un IVC para toda la costa peruana. Un análisis de estas características contribuye brindado información trascendental para realizar planes de gestión de riesgo, de adaptación, y ordenamiento del litoral, en un país como el Perú, con una extensa línea de costa.



8 BIBLIOGRAFÍA

- Abuodha, P., & Wooddroffe, C. (setiembre de 2010). Assessing Vulnerability to sea level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 14(3), 189-205.
- Aiello, A., Canora, F., Pasquariello, G., & Spilotro, G. (2013). Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*(129), 124-135.
- Ángeles, R., & Pozzi, D. (2004). Del horizonte medio al horizonte tardío en la costa sur central: El caso del valle de Asia. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, 33(3), 861-886.
- APCV. (2009). *Plan Estratégico Institucional 2009-2013*. Lima: Autoridad del Proyecto Costa Verde (APCV).
- Asia Perú. (2012). *Boom inmobiliario de urbanizaciones del litoral sur*. Recuperado el 31 de marzo de 2012, de Playa de Lima Sur: <http://www.asiaperu.info/balneario-asia-sur-chico-playas-sur/boom-inmobiliario-asia.php>
- Bindoff, N., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Gulev, S., . . . Unnikrishnan, A. (2007). Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. Averyt, . . . H. Miller (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge and New York: Cambridge University Press.
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology: An introduction* (Segunda ed.). West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Boak, E., & Turner, I. (2005). Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 688-703.
- Boruff, B., Emrich, C., & Cutter, S. (2005). Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Countries. *Journal of Coastal Research*(215), 935-942.
- Church, A., Aarup, T., Woodworth, P., Wilson, W., Nicholls, R., Rayner, R., . . . Lowe, J. (2010). Chapter 13 Sea Level Rise and Variability: Synthesis and Outlook for the Future. In A. Church, P. Woodworth, T. Aarup, & W. Wilson (Eds.), *Understanding Sea Level Rise and Variability* (1 ed.). Publishing LTD.
- Church, J., Clark, A., Cazenave, J., Gregory, J., Jevrejeva, S., Levermann, A., . . . Unnikrishnan, A. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. (T. Stocker, G. Qin, M. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, . . . P. Midgley, Eds.) Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Congreso de la República. (1997). *Ley 26856. Declaración que las playas litorales son bienes de uso público, inalienables e imprescriptibles y establecen zona de dominio restringido*. Lima.
- Congreso de la República. (2011). Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (SINAGERD). Lima, Perú: <http://www.congreso.gob.pe/ntley/Imagenes/Leyes/29664.pdf>.
- Consortio costero para el desarrollo sostenible. (2003). El manejo integrado de la zona costera en el Perú. *Taller de Experiencia Internacional del manejo integrado de la zona costera y perspectivas de los Gobiernos Regionales*. Chancay.
- COOPI. (2010). *Proyecto SIRAD. Sistema de información sobre recursos para atención de desastres. Investigación sobre el peligro de tsunami en el Área Metropolitana*

- de Lima y Callao*. Cooperazione Internazionale.
- CZMS. (1992). Common Methodology for Assessing Vulnerability to Sea-Level Rise. En *Global Climate Change and the rising Challenge of the Sea*. The Hauge, Netherlands: Coastal Zone Management Subgroup (CZMS).
- Dean, R., & Dalrymple, R. (2001). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Dean, R., Walton, T., Rosati, J., & Absalonsen, L. (2013). Chapter 13 Beach Erosion: Causes and Stabilization. En C. W. Finkl (Ed.), *Coastal Hazards* (Vol. 6). Springer.
- Department of Primary Industries and Water. (2009). *Coastal Risk Management Plan: Template and Guidelines*. Retrieved julio 06, 2014, from http://dpiwwe.tas.gov.au/Documents/CRMP_Template_and_Guidelines.pdf
- Dirección de Hidrografía y Navegación. (2006). *Datum de línea de más alta marea*.
- Domínguez, L., Gracia, F., & Anfuso, G. (2004). Tasas de avance/retroceso de la línea de costa mediante morfometría fotogramétrica en el sector Sanlúcar de Barrameda - Rota (Provincia de Cádiz). *Revista Sociedad Geológica*(17), 71-86.
- Duffy, W., & Dickson, S. (1995). Using grid and graph to quantify and display shoreline change. *Proceedings of the Fifteen Annual ESRI Conference*. Palm Springs, California.
- Duriyapong, F., & Nakhapakorn, K. (Julio-Agosto de 2011). Coastal Vulnerability Assessment: A Case Study of Samut Sakhon Coastal Zone. *Songklanakarín Journal of Science and Technology*, 33(4), 469-476.
- El Comercio. (17 de enero de 2014a). Lima tiene 8'693,387 habitantes, reveló el INEI. *Elcomercio.pe*.
- El Comercio. (18 de noviembre de 2014b). Costa Verde tendrá 3 carriles para verano en este tramo (MAPA). *Elcomercio.pe*.
- Emery, K. (1961). *A simple method of measuring beach profiles: Limnology and Oceanography*.
- EuroSION. (2004). *Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability*. Part III - Methodology for assessing regional indicators.
- EuroSION. (2005). *Vivir con la erosión costera de Europa. Sedimentos y espacio para la sostenibilidad*. (P. Doody, M. Ferreira, S. Lombardo, I. Lucius, R. Misdorp, H. Niesing, . . . C. Pérez, Edits.) Luxemburgo.
- Finkl, C. (2004). Coastal Classification: Systematic Approaches to Consider in the Development of a Comprehensive Scheme. *Journal of Coastal Research*(20), 166-213.
- Galvin, C. (1968). Breaker Type Classification on Three Laboratory Beaches. *Journal of Geophysical Research*(73), 3651-3659.
- Grández, M. (2010). *Estudio de vulnerabilidad de la línea de costa: La Chira, Villa, La Encantada de Villa, Cocotero, Country Club Villa, Venecia, Club Lobo de Mar, Barlovento, Conchán y Mamacona*. Lima.
- Grupo COP 20. (2014). *1.1 Ecosistemas Marino Costeros*. Recuperado el 11 de agosto de 2015, de Grupo Perú COP 20: http://grupoperucop20.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=74:ecosistema-marino-costero&catid=19&Itemid=262
- Himmelstoss, E. (2009). *DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide*. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) versión 4.0. An ArcGIS extension for calculating shoreline change.

- Hinrichsen, D. (1998). The Coastal Population Explosion. *Coastal Waters of the World: Trends, Threats, and Strategies*.
- IMARPE. (2010). *Informe Nacional sobre el Estado del Ambiente Marino del Perú*. Callao: Instituto del Mar del Perú, Ministerio de la Producción.
- INDECI. (2006). *Manual Básico para la Estimación del Riesgo*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2010). *Estudio para determinar el nivel de vulnerabilidad física ante la probable ocurrencia de un sismo de gran magnitud. Distrito: Chorrillos*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI. (2011). *Riesgo sísmico y medidas de reducción del riesgo en el centro histórico de Lima*. Lima: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INDECI-PNUD. (2003). *Mapa de peligros, plan de prevención ante desastres, uso de suelo y medidas de mitigación: Ciudad de Asia*. Asia.
- INEI. (1993a). *Censos Nacionales 1993: IX de Población y IV de Vivienda*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- INEI. (1993b). *Estadística de centros poblados 1993 - Cuadros estadísticos*. (I. N. (INEI), Editor) Recuperado el 30 de junio de 2012, de Censos Nacionales 1993 IX de Población y IV de Vivienda:
<http://censos.inei.gob.pe/bcoCuadros/bancocuadro.asp?p=14>
- INEI. (2007). *Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- Jiménez, J., Valdemoro, F., Sole, F., Mendoza, E., García, V., Bosom, E., & Sánchez-Arcilla, A. (2009, mayo 27). Evaluación de la vulnerabilidad costera a diferentes procesos: una aproximación multiescalar. (U. P. Catalunya, Ed.) Barcelona: Laboratori d'Enginyeria Marítima.
- Kok, M., Karlsson, J., Lüdeke, M., Mohamed-Katerere, J., & Thomalla, F. (Julio de 2009). *Vulnerability of people and the environment - challenges and opportunities*. (N. E. (PBL), Ed.) Recuperado el 6 de julio de 2014, de http://www.unep.org/dewa/Portals/67/pdf/GEO_chpt7_Background_Report.pdf
- Le Roux, J., Tavares, C., & Alayza, F. (enero de 2000). Sedimentology of the Rímac-Chillón alluvial fan at Lima Perú, as related to Plio-Pleistocene sea-level changes, glacial cycles and tectonics. *Journal of South American Earth Science*(13), 499-510.
- Leceta, F. (2009). *Análisis de la variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y sistemas de información geográfica: Bahía de Miraflores, Perú 1936-2005*. Lima.
- León, J., & Tavares, C. (2005). Quantification of Shoreline Change in Salaverry, Peru. *Journal of Coastal Research*, 1013-1016.
- Lewis, W. (1931). The effect of wave incidence on the configuration of a shingle beach. *The Geographical Journal*(78), 129-148.
- Ludeña, W. (2011). Suburbanización y urbanismo de ricos: La urbanización del litoral del sur de Lima. En *Lima-Santiago: Reestructuración y cambio metropolitano* (págs. 84-87). Lima: Colección Estudios Urbanos UC.
- Manca, E., Pascucci, V., Deluca, M., Cossu, A., & Andreucci, S. (2013). Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean & Coastal Management*, 12(1).

- Márquez, A., Márquez, E., Bolongaro, A., & Torres, V. (2010). *Cambio en la línea de costa en la Riviera Maya debido a fenómenos hidrometeorológicos extremos, ¿Consecuencia del cambio global climático global? Vulnerabilidad en las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático*. Recuperado el 16 de noviembre de 2012, de <http://www.anide.edu.mx/archivos/CAP16%20Cambio%20en%20la%20l%20nea%20de%20costa%20en%20la%20Riviera%20Maya.pdf>
- McLaughlin, S., McKenna, J., & Cooper, J. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constrains and opportunities. *Journal of Coastal Research*, 36, 489-497.
- Méndez, R. (24 de noviembre de 2008). La superficie contruida de la costa sube 22% en solo seis años. *El País*, págs. 12-13.
- Mesa de Concertación. (2005). *Necesidades básicas insatisfechas 1993-2005*. Recuperado el 28 de abril de 2012, de Mesa de concertación para la lucha contra la pobreza: http://www.mesadeconcertacion.org.pe/documentos/documentos/doc_00528.pdf
- Morales, F., & Muehe, D. (2011). The smartline approach to coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coastal vulnerability and social risk assessment applied to a segment of the east coast of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Coastal Conservation*(17), 211-223.
- Municipalidad Distrital de Asia. (s.f.). *Reseña histórica*. Recuperado el 31 de marzo de 2012, de Portal Institucional: Conociendo Asia: <http://www.muniasia.gob.pe/resena.php>
- Naciones Unidas. (1992). Sección II: Conservación y gestión de los recursos para el desarrollo - Capítulo 17. En *Agenda 21*. UN Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development.
- NOAA. (2010). *Adapting to Climate Change: A Planning Guide for State Coastal Managers*. (N. O. (NOAA), Ed.) Recuperado el 6 de julio de 2014, de <http://coastalmanagement.noaa.gov/climate/adaptation.html>
- Nonn, H. (1987). *Geografía de los litorales*. Madrid: Akal S.A.
- Novoa, Z. (2007). *El litoral Pacífico Peruano*. Lima: Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA).
- Nuñez, S., & Vásquez, J. (2009). *Zonas críticas por peligros geológicos en Lima Metropolitana. Primer reporte*. Informe técnico Geología Ambiental y Riesgo Geológico.
- Ojeda, J., Álvarez, J., Cajaraville, D., & Fraile, P. (2009). El uso de las tecnologías de información geográfica para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa Andaluza (España). *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, GeoFocus*(9), 83-100.
- Orencio, P., & Fujii, M. (2012). An Index to Determine Vulnerability of Communities in a Coastal Zone: A case Study of Baler Autota, Philippines. *Ambio*(42), 61-71.
- Ozyurt, G., & Ergin, A. (marzo de 2010). Improving Coastal Vulnerability Assessments to Sea-Level Rise: A new Indicator-Based Methodology for Decision Makers. *Journal of Coastal Research*, 26(2), 265-273.
- Palmer, B., Van del Elst, R., Mackay, F., Mather, A., Smith, A., Bundy, S., . . . Parak, O.

- (2011). Preliminary Coastal Vulnerability Assessment for KwanZulu-Natal, South Africa. *Journal of Coastal Research*, 64, 1390-1395.
- Patsch, K., & Griggs, G. (2007). *Development of Sand Budgets for California's Major Littoral Cells*. Eureks, Santa Cruz, Southern Monterey Bay, Santa Barbara, Santa Monica (including Zuma), San Pedro, Laguna, Oceanside, Mission Bay and Silver Stand Littoral Cells. Institute of Marine Science, University of California.
- Pendleton, E., Hammer-Klose, E., Thieler, E., & Williams, S. (2004). *Coastal Vulnerability Assessment of Gulf Islands National Seashore (GUIS) to Sea Level Rise*. Retrieved setiembre 7, 2014, from U.S. Geological Survey Open-File Report: <http://pubs.usgs.gov/of/2003/of03-108/>
- PNUD. (2014). *Human Development Report 2014*. New York: United Nations Development Programme.
- Proislas. (s.f.). *Asia Refugio de vida en las costas de Lima*. (P. d. Islas, Ed.) Lima: Biblios.
- Ramieri, E., Hartley, A., Barbanti, A., Duarte Santos, F., Gomes, A., Hilden, M., . . . Santini, M. (2011). *Methods for Assessing Coastal Vulnerability to Climate Change*. Bologna: European Environment Agency.
- Ranasinghe, R., & Stive, M. (2009). Rising seas and retreating coastlines. *Climate Change*, 465-468.
- Rao, S. (2007). *KML2SHP Conversion*. Recuperado el 7 de agosto de 2014, de ArcScript: <http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=14980>
- Rondón, G. (2011). *Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: bahí de Paita, Perú 1946-2007*. Lima.
- Rondón, G. (s.f.). Ficha de índice de vulnerabilidad costera.
- Sebrier, M., & Macharé, J. (1980). Observaciones acerca del cuaternario de la costa del Perú central. *Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos*, IX(1-2), 5-22.
- SENAMHI. (s.f.). *Guía climática turística* (Primera ed.). Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía del Perú (SENAMHI).
- Short, A., & Wright, L. (1983). Physical variability of sandy beaches. En A. McLachlan, & T. Erasmus (Edits.), *Sandy beaches and ecosystems* (págs. 133-144). The Hague.
- Silva, J., & Montoya, Z. (junio de 2006). Análisis de la relación entre el comportamiento estacional de los contaminantes sólidos sedimentables con las condiciones meteorológicas predominantes en la zona Metropolitana de Lima-Callao durante el 2004. *Acta Nova*, 3(2).
- Sparks, B. (1960). *Geomorphology*. Londres: Editorial Longmans.
- Suárez, J. (2005). *Delimitación y definición del espacio litoral*. Sevilla: Departamento de Geografía Humana. Universidad de Sevilla. .
- Tavares, C., & Drenkham, F. (2010). Variación de la línea litoral entre Puerto Chicama y Puémape, La Libertad, Perú (1961-2006). *Espacio y Desarrollo*(22), 103-117.
- Thieler, E., & Danforth, W. (1994a). Historical Shoreline Mapping (I): Improving Techniques and Reducing Positioning Errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 549-563.
- Thieler, E., & Danforth, W. (1994b). Historical Shoreline Mapping (II): Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis System (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 600-620.
- Thieler, E., Himmelstoss, E., Zichichi, J., & Ayhan, E. (2009a). *Digital Shoreline Analysis*

- System (DSAS) version 4.0.* (U. G. Survey, Ed.) Recuperado el 7 de setiembre de 2014, de <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/dsas/>
- Thieler, E., Williams, J., & Hammar-Klose, J. (2009b). *National assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise*. Recuperado el 9 de agosto de 2014, de USGS: <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/cvi/>
- Torresan, S., Critto, A., Dalla, M., Harvey, N., & Marcomini, A. (2008). Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales. *Sustainability Science*(3), 45-65.
- Vega, E., & Vega, M. (2005). *Vulnerabilidad ante desastres naturales ¿Cómo actuar?* Universidad de Costa Rica, CIECO.
- Viles, H., & Spencer, T. (1995). *Coastal problems: Geomorphology, Ecology and Society at the Coasts*. Edward Arnold y Oxford University Press. Obtenido de http://books.google.com.pe/books?id=nZbsAgAAQBAJ&pg=PA20&lpg=PA20&dq=Inman+and+Nordstrom+plate+tectonics+1971&source=bl&ots=mjX369g_SA&sig=criW6xnN1LBLTQTQWouYRFU5H2Y&hl=es&sa=X&ei=0YYUVK6XDITksATx7YC4DA&ved=0CCkQ6AEwAg#v=onepage&q=Inman%20and%20Nordstrom
- Zilbert, L., & Romero, G. (2012). *5 Herramientas para la Gestión del riesgo de Desastre*. DIPECHO.



9 ANEXOS

Anexo 9.1 Ficha de observación litoral

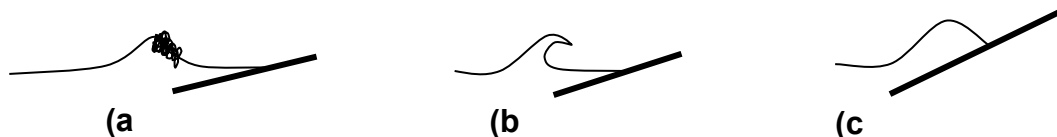
Ficha elaborada por: Dr. Carlos Tavares Corrêa.

1. Playa:				2. Fecha y hora:				3. Código del perfil:					
4. Coordenadas: Geográficas								UTM					
5. Altura de la ola (10 lecturas consecutivas en metros):						6. Período de la ola (11 crestas consecutivas – promedio en segundos):							
						7. Angulo de incidencia:				8. Rompiente:			
Corriente a lo largo de la costa:													
9. Velocidad de la corriente:						10. Dirección:							
Morfología de la playa:													
11. Ancho de la playa:						12. Orientación:							
13. Características del perfil:						14. Clasificación morfodinámica:							
15. Presencia de cúspides – distancia:						16. Tipo de sedimentos:							
17. Presencia de infraestructuras:													
18. Otras observaciones:													

Instrucciones para el llenado de la ficha de observación litoral

Elaborado por Dr. Carlos Tavares Corrêa

1. **Playa** – ingrese el nombre de la playa o localidad
2. **Fecha y hora** – ingrese la fecha y hora del inicio de la actividad
3. **Código del perfil** – ingrese un código de identificación del perfil (ejemplo: Villa 1)
4. **Coordenadas Geográfica y UTM** – ingrese ambas coordenadas mediante el uso de un GPS
5. **Altura de las olas** – ingrese 10 observaciones de alturas de olas consecutivas en el rompiente. Debido a la dificultad de acceso a las olas, se hará una estimación visual cotejada entre los observadores. Si hay un voluntario para meterse al agua, éste servirá como una buena escala de referencia. Normalmente, la precisión de estas estimaciones deberían estar alrededor de ± 0.25 metros. Utilice valores tales como: 0.25 metros, 0.5 m, 0.75 m, 1 m, 1.25 m, 1.5 m, etc.
6. **Período de las olas** – ingrese 3 lecturas de períodos de ola. El procedimiento más sencillo es tomar el momento en que se rompen las olas. Mediante un cronómetro, se acciona el tiempo al romperse la primera ola. Se considera 11 en total, y en la última se detiene el cronómetro. Se utiliza el tiempo total el **SEGUNDOS** y lo divide entre 10 (intervalos de tiempo). El resultado de la división será el período (T) promedio de las olas en segundos.
7. **Angulo de incidencia de la ola** – es el ángulo que la ola hace con referencia a la orientación de la línea de litoral. Para ello se utiliza una brújula o el GPS. Se determina la orientación de la playa y de la ola por separado y de la diferencia entre ambas se puede obtener el ángulo de incidencia. Para determinar la orientación de las olas es necesario algo de imaginación.
8. **Tipo de rompiente** – hay 3 tipos básicos de rompiente:
 - a. **En derrame** – las olas se rompen gradualmente en playas de arena fina y pendientes suaves
 - b. **En voluta** – las olas se rompen muy empinadas formando tubos, las playas son medianamente inclinadas y de arenas gruesas
 - c. **En ondula** – las olas no llegan a romperse, las playas son muy empinadas y los sedimentos son de mayor tamaño



9. **Velocidad de la corriente** – se determina la corriente de deriva a partir de un flotador (una botella de plástico parcialmente llena con agua o arena). Se arroja la botella próxima al rompiente y se observa su desplazamiento. A partir de 2 puntos de referencia en la playa espaciados 10 metros entre sí, se puede

determinar la velocidad cronometrando el tiempo requerido para que la botella recorra la distancia entre los dos puntos de referencia.

10. **Dirección de la corriente** – se ingresa el sentido de la corriente: si hacia el norte o hacia el sur.
11. **Ancho de la playa** – se determina a partir de la longitud total del perfil de playa levantado
12. **Orientación de la playa** – ya determinado en el punto 7.
13. **Características del perfil** – si es erosivo o deposicional. Si el perfil tiene forma cóncava o presenta escarpes, es erosivo. Si tiene forma convexa, deposicional.
14. **Clasificación morfodinámica** – Según esta clasificación, hay 3 tipos básicos:
 - a. **Playas disipativas** – presentan características que coinciden con las de las rompientes en derrame
 - b. **Playas reflectivas** – coinciden con las rompientes en ondula
 - c. **Playas intermedias** – coinciden con las rompientes en voluta
15. **Presencia de cúspides** – son formas onduladas de grandes dimensiones a lo largo de la playa y forman concavidades y convexidades en contacto con el agua. Pueden presentar espaciamentos de 10, 100 o más metros.
16. **Tipos de sedimentos** – los sedimentos de playa son típicamente arenas, pero es común encontrar playas con partículas de tamaño más grande. Se clasificará los sedimentos como arena muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina, a partir de una tarjeta de comparación.
17. **Presencia de infraestructuras** – Se hará una lista de los tipos de estructuras presentes en la playa relacionados con cada perfil.
18. **Otras observaciones** – Aquí se incluye toda la información pertinente que no haya sido mencionada en los datos anteriores. Se puede mencionar problemas, dificultades, u otros datos relevantes.

Anexo 9.2 Ficha de perfil de playa

Ficha elaborada por: Dr. Carlos Tavares Corrêa.

1. Playa:			2. Fecha y Hora:		3. Código del perfil:
4. Coordenadas:				5. Responsable:	
Punto no.	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)	Punto no.	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
1			27		
2			28		
3			29		
4			30		
5			31		
6			32		
7			33		
8			34		
9			35		
10			36		
11			37		
12			38		
13			39		
14			40		
15			41		
16			42		
17			43		
18			44		
19			45		
20			46		
21			47		
22			48		
23			49		
24			50		
25			51		
26			52		
Hora de finalización del perfil:					

Anexo 9.3 Resultados Perfil de playa 1

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
1	5	-24
2	5	-5
3	5	-2
4	5	-2
5	5	5
6	5	2
7	5	2
8	5	-1
9	5	8
10	5	5
11	5	4
12	5	0
13	2	-7
14	1	-36
15	2	-37
16	5	-41
17	5	-22
18	5	-6
19	5	-9
20	5	-5
21	5	-6
22	5	-4
23	5	-1
24	5	0
25	5	0
26	5	-4
27	5	-8
28	5	-12
29	5	-14
30	5	-14
31	30	-76

Anexo 9.4 Resultados Perfil de playa 2

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
1	1.50	1.50
2	1.50	0.50
3	1.50	1.00
4	1.50	-3.50
5	1.50	1.50
6	1.50	-2.00
7	1.50	0.00
8	1.50	2.00
9	1.50	1.00
10	1.50	-1.00
11	1.50	0.00
12	1.50	-1.50
13	1.50	0.00
14	1.50	-1.50
15	1.50	-2.00
16	1.50	-1.00
17	1.50	0.50
18	1.50	0.50
19	1.50	3.00
20	1.50	5.00
21	1.50	9.50
22	1.50	6.00
23	1.50	7.50
24	1.50	4.50
25	1.50	2.00
26	1.50	3.00
27	1.50	2.00
28	1.50	-9.00
29	1.50	-5.00
30	1.50	-3.00
31	1.50	-5.50
32	1.50	-2.00
33	1.50	-1.00
34	1.50	-3.50
35	1.50	-2.00
36	1.50	-2.00

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
37	1.50	-1.50
38	1.50	-1.50
39	1.50	-1.50
40	1.50	0.00
41	1.50	-1.50
42	1.50	0.00
43	1.50	2.00
44	1.50	12.50
45	1.50	10.00
46	1.50	11.50
47	1.50	10.00
48	1.50	9.00
49	1.50	9.00
50	1.50	8.00
51	1.50	4.50
52	1.50	4.50
53	1.50	8.00
54	1.50	8.00
55	1.50	4.50
56	1.50	3.00
57	1.50	2.50
58	1.50	4.00

Anexo 9.5 Resultados Perfil de playa 3

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
1	1.5	-1
2	1.5	-1
3	1.5	2
4	1.5	0
5	1.5	2
6	1.5	0
7	1.5	-1
8	1.5	-2.5
9	1.5	-2
10	1.5	-4
11	1.5	-6.5
12	1.5	-4.5
13	1.5	-7
14	1.5	-8
15	1.5	-11
16	1.5	-10
17	1.5	-9
18	1.5	-11
19	1.5	-11
20	1.5	-7.5
21	1.5	-7
22	1.5	-8
23	1.5	-3
24	1.5	-6
25	1.5	-6
26	1.5	-5
27	1.5	-5.5
28	1.5	-7.5
29	1.5	-4
30	1.5	-5
31	1.5	-4
32	1.5	-3.5
33	1.5	-2
34	1.5	0
35	1.5	-3
36	1.5	1

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
37	1.5	1.5
38	1.5	-1
39	1.5	0
40	1.5	-2.5
41	1.5	-4
42	1.5	-3
43	1.5	-1
44	1.5	-4
45	1.5	-4.5
46	1.5	-4
47	1.5	-2.5
48	1.5	-4.5
49	1.5	0
50	1.5	-1
51	1.5	-0.5
52	1.5	0
53	1.5	0
54	1.5	-0.5
55	1.5	0
56	1.5	1
57	1.5	-0.5
58	1.5	-0.5
59	1.5	2
60	1.5	-3.5
61	1.5	-2.5
62	1.5	1
63	1.5	0
64	1.5	3
65	1.5	1
66	1.5	1
67	1.5	1
68	1.5	2
69	1.5	3
70	1.5	0
71	1.5	1
72	1.5	1
73	1.5	1
74	1.5	2
75	1.5	2.5

Punto	Variación horizontal (m)	Variación vertical (cm)
76	1.5	4
77	1.5	3
78	1.5	-5.5
79	1.5	-8
80	1.5	-9.5
81	1.5	-8
82	1.5	-7.5
83	1.5	-8
84	1.5	-9
85	1.5	-8.5
86	1.5	-8
87	1.5	-8
88	1.5	-7
89	1.5	-6

Anexo 9.6 Cálculos de la pendiente de los perfiles de playa

Perfil de playa	Variación horizontal (X) (m)	Variación vertical (Y) (m)	Y/X	Pendiente del perfil (α) ($^{\circ}$)
Perfil de playa 1	170.00	3.10	0.01823529	1.0490
Perfil de playa 2	87.00	1.11	0.01270115	0.7278
Perfil de playa 3	133.00	2.64	0.01981203	1.1352

Anexo 9.7 Resultados DSAS

<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
2	3.920	148.740	148.740
3	2.960	112.530	112.530
4	2.710	103.050	103.050
5	2.490	94.510	94.510
6	1.820	69.300	69.300
7	1.560	59.300	59.300
8	1.750	66.340	66.340
9	1.390	52.860	52.860
10	0.910	34.670	34.670
11	1.010	38.360	38.360
12	0.340	13.060	13.060
13	0.490	18.510	18.510
14	0.530	20.300	20.300
15	0.870	33.170	33.170
16	-0.460	-17.450	17.450
17	-0.490	-18.630	18.630
18	-0.470	-17.950	17.950
19	0.100	3.820	3.820
20	0.170	6.460	6.460
21	1.080	41.040	41.040
22	0.300	11.530	11.530
23	0.810	30.730	30.730
24	0.680	25.760	25.760
25	0.130	4.800	4.800
26	-0.140	-5.170	5.170
27	-0.410	-15.680	15.680
28	0.160	5.950	5.950
29	0.130	5.120	5.120
30	0.470	17.820	17.820
31	0.500	18.910	18.910
32	0.400	15.280	15.280
33	0.370	14.100	14.100
34	0.350	13.320	13.320
35	0.450	16.980	16.980
36	0.220	8.420	8.420
37	-0.130	-5.110	5.110
38	-0.190	-7.190	7.190
39	-0.170	-6.470	6.470
40	0.100	3.650	3.650
41	-0.490	-18.760	18.760
42	-1.020	-38.640	38.640

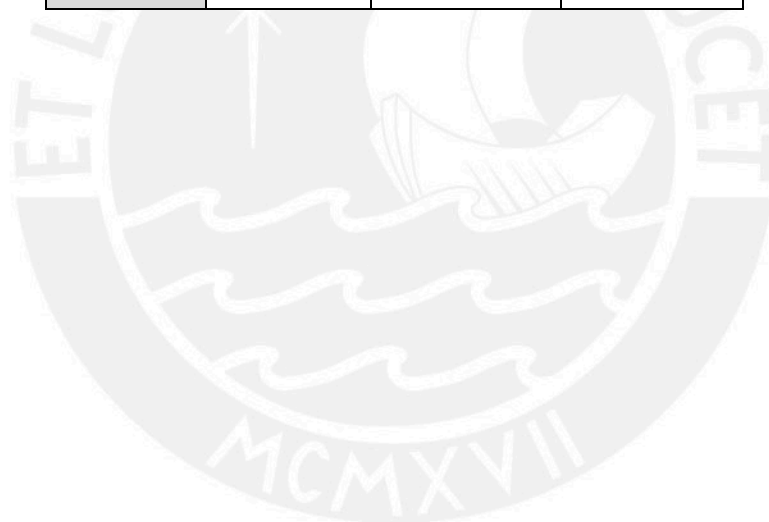
<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
43	-0.660	-25.000	25.000
44	0.370	14.050	14.050
45	0.740	28.110	28.110
46	1.150	43.610	43.610
47	1.600	60.780	60.780
48	1.090	41.450	41.450
49	0.600	22.710	22.710
50	0.070	2.830	2.830
51	-0.450	-17.020	17.020
52	-1.010	-38.280	38.280
53	-0.620	-23.510	23.510
54	-1.450	-55.010	55.010
55	-0.710	-26.970	26.970
56	1.090	41.290	41.290
57	1.230	46.860	46.860
58	1.530	58.050	58.050
59	-1.680	-63.800	63.800
60	-1.380	-52.580	52.580
61	-1.260	-47.870	47.870
62	0.680	25.830	25.830
63	-0.390	-14.650	14.650
64	-0.250	-9.650	9.650
65	-0.050	-1.780	1.780
66	0.270	10.440	10.440
67	-0.090	-3.420	3.420
68	1.440	54.630	54.630
69	1.860	70.700	70.700
70	1.550	58.850	58.850
71	1.420	54.080	54.080
72	0.970	36.690	36.690
73	1.090	41.580	41.580
74	0.910	34.390	34.390
75	1.380	52.490	52.490
76	1.240	47.070	47.070
77	1.340	50.990	50.990
78	1.430	54.210	54.210
79	1.490	56.740	56.740
80	0.910	34.370	34.370
81	0.540	20.590	20.590
82	0.750	28.450	28.450
83	1.670	63.590	63.590
84	1.790	68.120	68.120
85	0.500	18.980	18.980

<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
86	0.130	4.800	4.800
87	0.950	36.150	36.150
88	1.580	60.150	60.150
89	1.680	63.810	63.810
90	1.280	48.790	48.790
91	0.580	22.050	22.050
92	0.240	9.080	9.080
93	1.020	38.890	38.890
94	1.730	65.730	65.730
95	0.500	19.130	19.130
96	0.290	10.850	10.850
97	0.370	13.900	13.900
98	0.560	21.210	21.210
99	0.770	29.340	29.340
100	0.300	11.390	11.390
101	0.210	7.830	7.830
102	0.560	21.450	21.450
103	0.760	28.670	28.670
104	1.070	40.800	40.800
105	1.020	38.810	38.810
106	1.060	40.330	40.330
107	0.820	30.990	30.990
108	0.820	31.220	31.220
109	0.890	33.920	33.920
110	0.550	20.890	20.890
111	0.100	3.620	3.620
112	0.240	9.110	9.110
113	0.570	21.750	21.750
114	0.340	12.840	12.840
115	0.700	26.670	26.670
116	0.320	11.970	11.970
117	-0.160	-6.110	6.110
118	-0.100	-3.680	3.680
119	-0.090	-3.400	3.400
120	-0.140	-5.460	5.460
121	0.420	16.030	16.030
122	0.710	27.140	27.140
123	1.360	51.710	51.710
124	1.750	66.400	66.400
125	1.770	67.050	67.050
126	1.240	46.940	46.940
127	1.330	50.330	50.330
128	1.440	54.630	54.630

<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
129	2.260	85.980	85.980
130	2.100	79.590	79.590
131	2.300	87.400	87.400
132	1.250	47.580	47.580
133	1.120	42.400	42.400
134	1.380	52.400	52.400
135	0.990	37.550	37.550
136	1.070	40.520	40.520
137	1.430	54.190	54.190
138	1.370	51.930	51.930
139	1.740	65.890	65.890
140	1.960	74.390	74.390
141	2.210	83.730	83.730
142	2.120	80.330	80.330
143	1.610	61.110	61.110
144	1.650	62.480	62.480
145	1.930	73.180	73.180
146	1.620	61.640	61.640
147	1.710	64.750	64.750
148	1.770	67.100	67.100
149	1.830	69.380	69.380
150	1.620	61.490	61.490
151	1.610	61.020	61.020
152	1.760	66.900	66.900
153	2.010	76.170	76.170
154	1.650	62.540	62.540
155	1.560	59.230	59.230
156	1.470	55.950	55.950
157	1.440	54.670	54.670
158	1.480	56.250	56.250
159	1.210	45.780	45.780
160	1.250	47.420	47.420
161	1.460	55.270	55.270
162	1.080	40.940	40.940
163	1.090	41.420	41.420
164	1.080	40.990	40.990
165	1.130	42.930	42.930
166	0.960	36.320	36.320
167	0.580	21.840	21.840
168	0.720	27.320	27.320
169	0.680	25.970	25.970
170	0.800	30.300	30.300
171	0.990	37.590	37.590

<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
172	0.380	14.580	14.580
173	0.220	8.530	8.530
174	0.400	15.230	15.230
175	0.720	27.440	27.440
176	1.060	40.350	40.350
177	0.680	25.830	25.830
178	0.880	33.280	33.280
179	0.770	29.190	29.190
180	0.390	14.680	14.680
181	0.340	13.060	13.060
182	0.430	16.500	16.500
183	0.430	16.230	16.230
184	0.550	21.060	21.060
185	0.260	9.940	9.940
186	-0.130	-5.090	5.090
187	-0.320	-12.070	12.070
188	0.090	3.470	3.470
189	-0.210	-8.060	8.060
190	-0.530	-20.130	20.130
191	-1.190	-45.070	45.070
192	-0.320	-12.200	12.200
193	-0.400	-15.320	15.320
194	0.170	6.420	6.420
195	1.070	40.750	40.750
196	0.960	36.340	36.340
197	0.980	37.190	37.190
198	0.800	30.480	30.480
199	1.330	50.480	50.480
200	1.740	66.230	66.230
201	1.680	63.610	63.610
202	0.180	6.970	6.970
203	0.550	20.700	20.700
204	1.070	40.730	40.730
205	1.080	41.170	41.170
206	1.640	62.270	62.270
207	1.790	68.070	68.070
208	0.130	4.800	4.800
209	-0.140	-5.160	5.160
210	0.910	34.570	34.570
211	1.090	41.210	41.210
212	1.140	43.150	43.150
213	1.070	40.460	40.460
214	0.670	25.510	25.510

<i>AE1: Balneario de Asia (1969-2007)</i>			
Transecto	EPR	NSM	SCE
215	0.760	28.890	28.890
216	1.240	47.120	47.120
217	1.210	46.020	46.020
218	1.140	43.130	43.130
219	1.030	39.300	39.300
220	0.940	35.790	35.790
221	0.750	28.420	28.420
222	0.760	28.730	28.730
223	0.870	32.880	32.880
224	0.590	22.330	22.330
225	0.370	14.170	14.170
226	0.310	11.640	11.640
227	0.350	13.350	13.350
228	0.730	27.750	27.750
229	0.270	10.080	10.080
230	0.130	4.910	4.910
Promedio	0.779	29.571	35.443



Anexo 9.8 Resultados del IVC para las áreas de estudio

<i>Resultados del IVC para el AE 1: Balneario de Asia. (Elaboración propia)</i>					
Variable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	1	2	3	4	5
VARIABLES FÍSICAS					
Pendiente de la playa (°)	>6.0	6.0-5.0	4.9-4.0	3.9-3.0	<3.0
Altura media de la ola (m)	<0.5	0.5-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	>2.0
Geomorfología/geología	Acantilados altos o medios sobre rocas consolidadas y resistentes	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erosión	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales elevadas y con sedimentos tipo grava o roca	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas y con sedimentos tipo arena	Playas adosadas a humedales tómbolos, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones estuarinas o fluvio-mareales
Variabilidad de la línea de costa (m/año)	>3.0	2.1-3.0	1.1-2.0	0.1-1.0	<0.0
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS					
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m)	> 230	230 – 171	170 – 111	110 – 51	≤ 50
Densidad poblacional (hab/km ²)	≤ 50	51-500	501-1 000	1 001-5 000	> 5 000
Uso del suelo	Zona con cuerpos de agua, sin infraestructuras	Zona costera con infraestructuras espaciadas que no incluyan espacios públicos de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que no incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura espaciada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)

<i>Resultados del IVC para el AE 2: Bahía de Miraflores (Elaboración propia)</i>					
Variable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	1	2	3	4	5
VARIABLES FÍSICAS					
Pendiente de la playa (°)	>6.0	6.0-5.0	4.9-4.0	3.9-3.0	<3.0
Altura media de la ola (m)	<0.5	0.5-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	>2.0
Geomorfología/geología	Acantilados altos o medios sobre rocas consolidadas y resistentes	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erosión	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales elevadas y con sedimentos tipo grava o roca	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas y con sedimentos tipo arena	Playas adosadas a humedales tómbolos, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones estuarinas o fluvio-mareales
Variabilidad de la línea de costa (m/año)	>3.0	2.1-3.0	1.1-2.0	0.1-1.0	<0.0
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS					
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m)	> 230	230 – 171	170 – 111	110 – 51	≤ 50
Densidad poblacional (hab/km ²)	≤ 50	51-500	501-1 000	1 001-5 000	> 5 000
Uso del suelo	Zona con cuerpos de agua, sin infraestructuras	Zona costera con infraestructuras espaciadas que no incluyan espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que no incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura espaciada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)

Resultados del IVC para el AE 3: Chorrillos (Elaboración propia)					
Variable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
	1	2	3	4	5
VARIABLES FÍSICAS					
Pendiente de la playa (°)	>6.0	6.0-5.0	4.9-4.0	3.9-3.0	<3.0
Altura media de la ola (m)	<0.5	0.5-1.0	1.1-1.5	1.6-2.0	>2.0
Geomorfología/geología	Acantilados altos o medios sobre rocas consolidadas y resistentes	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erosión	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales elevadas y con sedimentos tipo grava o roca	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas y con sedimentos tipo arena	Playas adosadas a humedales tómbolos, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones estuarinas o fluvio-mareales
Variabilidad de la línea de costa (m/año)	>3.0	2.1-3.0	1.1-2.0	0.1-1.0	<0.0
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS					
Distancia de las estructuras con el nivel medio de marea (m)	> 230	230 – 171	170 – 111	110 – 51	≤ 50
Densidad poblacional (hab/km ²)	≤ 50	51-500	501-1 000	1 001-5 000	> 5 000
Uso del suelo	Zona con cuerpos de agua, sin infraestructuras	Zona costera con infraestructuras espaciadas que no incluyen espacios públicos de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que no incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura espaciada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)	Zona costera con infraestructura concentrada que incluye espacios de primera prioridad (ej. Hospitales, colegios, plantas de agua, rutas de escape, etc.)