



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A
EVENTOS DE OLEAJE EXTREMO EN
LA COSTA DE VIÑA DEL MAR Y CONCÓN**

Catalina Alejandra Tejo Roa

Julio 2017

**EVALUACIÓN DEL RIESGO ASOCIADO A EVENTOS DE OLEAJE EXTREMO
EN LA COSTA DE VIÑA DEL MAR Y CONCÓN**

Catalina Alejandra Tejo Roa

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

NOMBRE REVISOR 1

Profesor guía: Mauricio Reyes

NOMBRE REVISOR 2

Profesor co-guía: Patricio Winckler

NOMBRE REVISOR 3

Ingeniero Civil Oceánico:
Marco Matamala

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Memorista
Catalina Tejo Roa

Profesor guía
Mauricio Reyes Gallardo

AGRADECIMIENTOS

Al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA por colaborar con los datos de niveles de marea y batimetrías; especialmente a la Srta. Carolina Calvete y al Sr. Daniel Rojas.

A Ariel Gallardo y Marco Álvarez, por su ayuda a través del proyecto “Un Atlas de Oleaje para Chile” con algunos datos y procedimientos, además de su buena acogida en el laboratorio de Hidráulica de la carrera en Santiago.

A mis amigos, compañeros de universidad y de trabajo por su apoyo y ayuda en la claridad de mi tesis y vida.

A mi terapeuta Marina Moreno y amigo Álvaro Palma por guiarme, incentivar me y animarme a terminar este ciclo con mucho amor.

A mi amada familia, por su incondicional compañía, paciencia y amor en este largo andar.

A la Vida.

*Dedicada a
todos los Seres que me acompañan
en esta grandiosa odisea
llamada Vida*

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
2. OBJETIVOS	- 5 -
3. MARCO TEÓRICO	- 6 -
3.1 RIESGO	- 6 -
3.1.1 <i>Amenaza</i>	- 7 -
3.1.1.1 Mareas	- 7 -
3.1.1.2 Oleaje	- 9 -
3.1.1.3 Cota de Inundación	- 14 -
3.1.1.4 Clima Extremo	- 15 -
3.1.2 <i>Impacto</i>	- 17 -
3.1.2.1 Vulnerabilidad	- 19 -
3.1.2.2 Exposición	- 20 -
4. METODOLOGÍA	- 20 -
4.1 ANÁLISIS DE AMENAZA.....	- 24 -
4.1.1 <i>Recopilación y Análisis de la Data</i>	- 24 -
4.1.1.1 Registro de Mareas	- 24 -
4.1.1.2 Procesamiento Batimétrico y Pendiente Media.....	- 25 -
4.1.1.3 Data de Oleaje.....	- 26 -
4.1.2 <i>Análisis Armónico</i>	- 27 -
4.1.3 <i>Interpolación y Grilla Numérica</i>	- 27 -
4.1.4 <i>Propagación del Oleaje</i>	- 29 -
4.1.5 <i>Cálculo Número de Iribarren</i>	- 29 -
4.1.6 <i>Cálculo Wave Runup</i>	- 30 -
4.1.7 <i>Cota de Inundación</i>	- 31 -
4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA	- 31 -
4.2.1 <i>Clima Extremo</i>	- 31 -
4.3 ANÁLISIS DE IMPACTO.....	- 33 -
4.3.1 <i>Análisis de Vulnerabilidades</i>	- 34 -
4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO	- 38 -
4.5 EVALUACIÓN DE RIESGO	- 38 -
5. RESULTADOS	- 39 -
5.1 ANÁLISIS DE AMENAZA.....	- 40 -
5.1.1 <i>Propagación del oleaje</i>	- 41 -
5.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA	- 43 -
5.2.1 <i>Clima Extremo</i>	- 43 -
5.3 ANÁLISIS DE IMPACTO.....	- 46 -
5.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO.....	- 51 -
5.5 EVALUACIÓN DE RIESGO.....	- 55 -
6. CONCLUSIONES	- 63 -
7. BIBLIOGRAFÍA	- 66 -
8. ANEXOS	- 69 -
8.1 ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO	- 70 -

8.1.1	PCM, Project Cycle Management	- 70 -
8.1.1.1	Análisis de Actores	- 70 -
8.1.2	Matriz de Impacto	- 76 -
8.2	ANEXO N°2: OLEAJE	- 82 -
8.2.1	Aguas Profundas.....	- 82 -
8.2.2	Propagación.....	- 87 -
8.2.3	Pendiente Media.....	- 91 -
8.2.4	Wave Runup.....	- 92 -
8.2.5	Mareas.....	- 96 -
8.2.6	Cota de Inundación	- 96 -
8.2.7	Clima Extremo.....	- 103 -
8.2.8	Clima Medio en Sitios de Estudio	- 110 -
8.3	ANEXO N°3: ANTECEDENTES	- 123 -
8.3.1	Fenómeno del Niño	- 123 -
8.3.2	Otros Antecedentes	- 127 -
8.3.2.1	Prensa.....	- 127 -
8.3.2.2	Marco Legal.....	- 129 -
8.3.2.3	Niveles de Terreno	- 130 -

LISTA DE TABLAS

TABLA 4-1:	INFORMACIÓN SITIOS DE ESTUDIO.....	- 26 -
TABLA 4-2:	INFORMACIÓN DATA DE OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS.....	- 27 -
TABLA 4-3:	PROBABILIDAD Y FACTOR DE P SEGÚN PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CI	- 32 -
TABLA 4-4:	ESCALA CUALITATIVA PARA EL FACTOR DE IMPACTO EN TÉRMINOS DE SEVERIDAD POR DAÑOS. (REYES, 2013).....	- 33 -
TABLA 4-5:	MATRIZ DE IMPACTO	- 37 -
TABLA 4-6:	MATRIZ DE RIESGO.....	- 39 -
TABLA 4-7:	CLASIFICACIÓN DE RIESGO. (REYES, 2013).....	- 39 -
TABLA 5-1:	RESUMEN DE RESULTADOS, ANÁLISIS DE AMENAZA	- 40 -
TABLA 5-2:	MAGNITUD DE CI CORRESPONDIENTE A CADA PROBABILIDAD Y FACTOR DE P	- 46 -
TABLA 5-3:	REPARACIÓN DE DAÑOS.....	- 46 -
TABLA 5-4:	EVALUACIÓN IMPACTO ESCENARIO A.....	- 51 -
TABLA 5-5:	EVALUACIÓN IMPACTO ESCENARIO B.....	- 51 -
TABLA 5-6:	RESULTADOS DE IMPACTO, ESCENARIO A.....	- 54 -
TABLA 5-7:	RESULTADOS DE IMPACTO, ESCENARIO B.....	- 54 -
TABLA 5-8:	RIESGO PARA ESCENARIOS DE IMPACTO A Y B.....	- 55 -
TABLA 5-9:	RESUMEN DE RESULTADOS	- 57 -
TABLA 8-1:	DEFINICIÓN DE ACTORES. (REYES, 2013).....	- 71 -
TABLA 8-2:	AGRUPACIÓN DE LOS ACTORES. (REYES, 2013).....	- 72 -
TABLA 8-3:	ANÁLISIS DE ACTORES, PROBLEMAS Y FODA. (REYES, 2013)	- 73 -
TABLA 8-4:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN PERSONAS	- 77 -
TABLA 8-5:	ESCALA CUALITATIVA DE REPARACIÓN DE DAÑOS	- 77 -
TABLA 8-6:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN INFRAESTRUCTURA	- 78 -
TABLA 8-7:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN SERVICIOS DE LÍNEAS DE VIDA	- 78 -
TABLA 8-8:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN SERVICIOS DE TRANSPORTE.....	- 79 -
TABLA 8-9:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN DIFICULTADES PARA LA VIDA.....	- 80 -
TABLA 8-10:	CRITERIOS PARA EL IMPACTO EN OTROS SERVICIOS O VULNERABILIDADES.....	- 80 -
TABLA 8-11:	TABLA INCIDENCIA HMO-TP AGUAS PROFUNDAS	- 83 -
TABLA 8-12:	TABLA INCIDENCIA HMO-DP AGUAS PROFUNDAS.....	- 83 -

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-1: ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE GOOGLE EARTH	- 3 -
FIGURA 1-2: PLAYA EL SOL ANTES Y DESPUÉS DE UN EVENTO DE OLEAJE EXTREMO. (DIARIOUNO, 2016)	- 4 -
FIGURA 3-1: ESQUEMA DEL MÉTODO DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DEL OLEAJE. (DOMÍNGUEZ, 2011).....	- 11 -
FIGURA 3-2: DEFINICIÓN PARA WAVE RUNUP. (CEM, 2003)	- 13 -
FIGURA 3-3: DEFINICIÓN DE RUNUP (Ru) COMO MÁXIMO LOCAL EN ELEVACIÓN. (CEM, 2003).....	- 14 -
FIGURA 3-4: DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO (REYES, 2013)	- 19 -
FIGURA 4-1: ESQUEMA GENERAL PROYECTO DE TESIS. ELABORACIÓN PROPIA MICROSOFT VISIO.....	- 23 -
FIGURA 4-2: BATIMETRÍA Y ENMALLADO. C: MALLA CHICA, M: MALLA MEDIA, G: MALLA GRANDE.....	- 28 -
FIGURA 4-3: NIVELES DE LA COTA DE INUNDACIÓN. (GIOC, 2000).....	- 31 -
FIGURA 4-4: ESTRUCTURA PROPUESTA PARA LA DETERMINACIÓN DEL IMPACTO. (REYES, 2013)	- 34 -
FIGURA 4-5: ÁRBOL DE PROBLEMAS, VULNERABILIDADES Y EXPOSICIÓN. (REYES, 2013)	- 36 -
FIGURA 5-1: MALLA GRANDE HM0 12S 225°	- 42 -
FIGURA 5-2: MALLA GRANDE HM0 12S 315°	- 42 -
FIGURA 5-3: MALLA MEDIA HM0 12S 225°	- 42 -
FIGURA 5-4: MALLA MEDIA HM0 12S 315°	- 42 -
FIGURA 5-5: MALLA PEQUEÑA HM0 12S 225°	- 42 -
FIGURA 5-6: MALLA PEQUEÑA HM0 12S 315°	- 42 -
FIGURA 5-7: TR v/s CI: (A) HIGUERILLAS - LA BOCA, (B) REÑACA,	- 43 -
FIGURA 5-8: PERÍODO DE RETORNO v/s COTA DE INUNDACIÓN (Tr v/s CI), CASO CONSERVADOR.....	- 44 -
FIGURA 5-9: CURVAS DE PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE CI : (A) HIGUERILLAS - LA BOCA, (B) REÑACA, (C) AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS Y (D) CALETA ABARCA - AV. LA MARINA.....	- 45 -
FIGURA 5-10: EJEMPLOS DE DAÑOS EN HIGUERILLAS - LA BOCA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) CLUB DE YATES HIGUERILLAS, (B) CALETA ARTESANAL DE PESCADORES SAN PEDRO, (C), (D), (E) Y (F) AV. BORGONO AL SUR DE LA ROTONDA CONCÓN. (EL MERCURIO DE VALPARAÍSO, 2016)	- 47 -
FIGURA 5-11: EJEMPLOS DE DAÑOS EN REÑACA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) AV. BORGONO SECTOR 1, (B) SECTOR SUR PLAYA REÑACA, (C) Y (D) ZONA ENTRE SECTOR 2 Y SECTOR 3, (E) SECTOR 2, (F) VISTA DE SUR A NORTE PLAYA REÑACA (LAS ÚLTIMAS NOTICIAS, 2015)	- 48 -
FIGURA 5-12: EJEMPLOS DE DAÑOS EN AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) AV. PERÚ, (B) PLAYA ACAPULCO, (C) PLAYA LOS MARINEROS, (D) PLAYA ARENAS BLANCAS (E) Y (F) RECTA LAS SALINAS (LAS ÚLTIMAS NOTICIAS, 2015).....	- 49 -
FIGURA 5-13: EJEMPLOS DE DAÑOS EN SECTOR CALETA ABARCA - AV. LA MARINA, MAREJADA AGOSTO DE 2015. (A) PLAYA CALETA ABARCA, (B) VISTA DE LA PLAYA DESDE EL NIVEL DE LA CALLE, (C) SOCAVACIÓN Y CAÍDA DE MURO DE CONTENCIÓN, (D) ESCOMBROS EN LA PLAYA. (MUNICIPALIDAD DE VIÑA DEL MAR, 2015).....	- 50 -
FIGURA 5-14: GRÁFICA RADIAL DE IMPACTO	- 52 -
FIGURA 5-15: GRÁFICA RADIAL DE RIESGO	- 56 -
FIGURA 5-16: DAÑOS E INUNDACIONES EN SITIO 4 HIGUERILLAS - LA BOCA. (A) CLUB DE YATES HIGUERILLAS, (B) PLAYA LA BOCA, (C) ESTACIÓN BENCINERA ROTONDA CONCÓN. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH.....	- 59 -
FIGURA 5-17: DAÑOS E INUNDACIONES EN SITIO 3 REÑACA. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH.....	- 60 -
FIGURA 5-18: DAÑOS EN SITIO 2 AV. PERÚ - RECTA LAS SALINAS. (A) PLAYA ARENAS BLANCAS, AV. JORGE MONTT, (B) PLAYA LOS MARINEROS, AV. SAN MARTÍN, (C.1) PLAYA ACAPULCO VISTA SUR, (C.2) PLAYA ACAPULCO VISTA NORTE, (D) AV. PERÚ NORTE, (E.1) Y (E.2) AV. PERÚ. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH.....	- 61 -
FIGURA 5-19: DAÑOS EN SITIO 1 CALETA ABARCA - AV. LA MARINA. (A) DESAPARICIÓN BARRERA ESTERO MARGA-MARGA, (B) CASTILLO WULFF, (C.1) Y (C.2) SOCAVACIÓN PASEO COSTERO AV. LA MARINA CASTILLO WOLFF, (D) INUNDACIÓN SHERATON, (E) PLAYA ABARCA. ELABORACIÓN PROPIA, GOOGLE EARTH	- 62 -
FIGURA 8-1: ZONAS DEL PLAN DE VIÑA DEL MAR. (BONILLA, 2012).....	- 74 -

FIGURA 8-2: FLUJO DE VEHÍCULOS EN INTERSECCIONES DEL PLAN DE VIÑA DEL MAR. (BONILLA, 2012)- 75 -
FIGURA 8-3: CENSO VIVIENDAS PLAN VIÑA DEL MAR. (INE, 2002)- 75 -

RESUMEN:

La zona costera de Chile abarca alrededor de 4200 Km de costa y en ella se encuentran ubicados asentamientos urbanos con variadas actividades de tipo económico, social y turístico. Bajo esta disposición geográfica, los centros urbanos costeros están expuestos a amenazas físicas ambientales que pueden afectarles en su funcionamiento y sustentabilidad. Tal es el caso de las marejadas, que en los últimos años han generado impactos sobre la infraestructura costera y en las estructuras naturales, especialmente las playas y en algunos casos, pérdidas humanas.

En este trabajo se analizan los sectores de Caleta Abarca - Av. La Marina, Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca en Viña del Mar, e Higuierillas - La Boca en Concón, pertenecientes a la Región de Valparaíso, tramos pertenecientes a la V Región de Valparaíso y que han sido reiteradamente afectados por la ocurrencia de marejadas.

El objetivo del estudio es determinar el nivel de riesgo asociado a marejadas, usando metodologías determinísticas y cualitativas. La amenaza es caracterizada mediante el cálculo de la cota de inundación en eventos extremos, con su probabilidad de ocurrencia estimada a partir de la data estadística de oleaje. Obtenida la magnitud del evento extremo, se utiliza una metodología simple de evaluación cualitativa y cuantitativa para la estimación del impacto sobre el sistema urbano contiguo al borde costero, utilizando para ello una estructura teórica de vulnerabilidades para el sistema en estudio.

De los resultados obtenidos, la mayor cota de inundación se presentó para el sitio de Av. Perú - Recta Las Salinas, donde también se obtuvo el mayor nivel de riesgo. Esto coincide con los antecedentes de daños, tanto de los eventos de marejadas que conforman la data del estudio establecida entre los años 1993 al 2013, como de los eventos de oleaje extremo de mayor actualidad ocurridos entre los años 2015 y 2016.

1. INTRODUCCIÓN

Chile es un país que cuenta con 4.200 Km de territorio costero, extensión que dentro de la estructura política-administrativa considera 14 de sus 15 regiones, 33 de sus 54 provincias y 102 de sus 346 municipios como zona de litoral. Estos municipios poseen asentamientos urbanos que involucran instalaciones portuarias, industrias de construcción y reparación de naves, poblaciones, caleta de pescadores artesanales y áreas de uso público para fines de recreación como playas y paseos costeros. Además, el Estado y sus organismos se encuentran desarrollando proyectos en actividades como el turismo, la pesca, la acuicultura, la industria pesquera, la minería y otras áreas dentro del borde costero, lo que hace resaltar la importancia de este estudio.

La motivación de realizar este trabajo surge a raíz de la condición costera que caracteriza al país y a la existencia de asentamientos urbanos a lo largo de él, ya que se encuentran expuestos a las condiciones del oleaje. Esta exposición es evidente cuando se presentan eventos de marejadas que producen un impacto en la población tanto en el ámbito social como en el económico. A causa de esto resulta importante y necesario conocer el comportamiento del mar. La condición de estas marejadas se debe a escenarios meteorológicos y oceanográficos que intensifican la magnitud del oleaje, comportamiento que se ha reiterado con mayor frecuencia los últimos 15 años (La Gran Época, 2013) (El Mercurio de Valparaíso, 2016).

Eventos como los ocurridos en Julio de 2013, Agosto de 2015 y en Enero y Febrero de 2016, reflejan el severo impacto que generan estos sucesos, en términos de daños de infraestructura e incluso en algunos casos, pérdidas humanas.

Como antecedente es importante destacar que existe el Fenómeno del Niño, *ENOS*, suceso que tiene una estrecha correlación con eventos de marejadas en la zona central del país y en toda Sudamérica (Ortlieb, 1994). Lluvias torrenciales, acompañadas de fuertes vientos y oleaje en Agosto de 2015 se comparan a lo acontecido en los años 1997/98 (CIIFEN, 2015).

A raíz de las características y eventos mencionados, se establece un método para determinar la cota de inundación y evaluar el riesgo en un sector costero de la V Región de Valparaíso. Este sector de estudio está enfocado en determinadas playas que se

caracterizan por ser relativamente abiertas, estar expuestas al oleaje y poseer una condición topo-batimétrica y orientación geográfica similares.

Los sitios de estudio se presentan en la Figura 1-1 enumerados del 1 al 4 y corresponden a los siguientes tramos:

1. Caleta Abarca – Av. La Marina. Comprende la zona del borde costero desde la playa Caleta Abarca hasta el estero Marga-Marga por Av. La Marina.
2. Av. Perú - Recta Las Salinas. Comprende la zona del borde costero desde el casino de Viña del Mar en Av. Perú hasta el final de la playa de Recta Las Salinas en punta Ossa, considerando paseos costeros y áreas verdes al costado de las Avenidas San Martín y Jorge Montt.
3. Reñaca. Comprende los cinco sectores de la playa Reñaca y Av. Borgoño.
4. Higuierillas – La Boca. Comprende la zona del borde costero en el sitio del club de yates Higuierillas y la playa La Boca a la altura de la rotonda de Concón.

Los sitios de estudio a analizar son contiguos a las playas de una de las regiones más turísticas del país siendo severamente dañadas por la ocurrencia de eventos de oleaje extremo (ver Figura 1-2).



Figura 1-1: Zona de estudio. Elaboración propia a partir de Google Earth

Bajo estas circunstancias, el propósito de este trabajo es brindar información que pueda utilizarse para orientar el cálculo de la cota de inundación y el análisis de riesgo en otro escenario o lugar y además, ayude a establecer medidas de contingencia y/o mitigación respecto a estos eventos.



Figura 1-2: Playa El Sol antes y después de un evento de oleaje extremo. (Diariouno, 2016)

La definición de **riesgo**, se aplicó de la metodología propuesta por Reyes (2013), estableciéndolo como el producto entre dos factores: la probabilidad de ocurrencia de la **amenaza**, que corresponde a los eventos de oleaje extremo caracterizados por la cota de inundación; y el **impacto**, el cual se determina a partir de las consecuencias de los daños una vez identificadas las vulnerabilidades del sistema.

La amenaza se desarrolla a partir de la metodología de GIOC (1998) en el atlas de inundación del litoral peninsular español. El impacto y análisis de riesgo se desarrolla siguiendo la metodología de Reyes (2013) y de PCM (2010).

Respecto a la metodología, se realiza una investigación de los acontecimientos de eventos de oleaje extremo en la zona descrita, considerando una recopilación de antecedentes históricos de diarios y prensa; una recopilación y procesamiento de datos; una propagación de oleaje; un análisis armónico de la marea; el cálculo del *runup*; cálculo de la cota de inundación; un análisis de clima extremo y por último, un análisis de riesgo. Los resultados y conclusiones se despliegan en los capítulos correspondientes.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis es proponer un procedimiento para evaluar el riesgo ante la ocurrencia de eventos de oleaje extremo caracterizados por la cota de inundación, aplicando dos metodologías para determinar las variables de riesgo. La información que se proporcione con este análisis servirá eventualmente para establecer medidas de contingencia, mitigación y/o recomendaciones en un estudio posterior con la finalidad de disminuir el riesgo.

Los objetivos específicos son:

- 1) Determinar la cota de inundación (*CI*) para cuatro sitios del sector costero señalados en la Figura 1-1.
- 2) Analizar las vulnerabilidades del sistema para la evaluación del impacto.
- 3) Evaluar el riesgo en las zonas urbanas costeras próximas a las playas de los sitios de estudio donde se obtuvieron las respectivas *CI*.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se definen los conceptos, el estado del arte y las ecuaciones involucrados en este trabajo. La finalidad de presentar este marco teórico es analizar todas las variables que involucran el riesgo ante la ocurrencia de eventos de oleaje extremo para reconocer las zonas más expuestas en cuanto a la cota de inundación.

3.1 RIESGO

Una de las definiciones de riesgo citada en Reyes (2013) es “la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas de vidas, personas heridas, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica (o el medio ambiente dañado) como resultado de las interacciones entre los peligros naturales y provocados por el hombre y condiciones vulnerables”. Su expresión para evaluarlo es (3.1).

$$R = P \times I \quad (3.1)$$

Donde:

<i>R</i>	Riesgo
<i>P</i>	Probabilidad de ocurrencia de la amenaza
<i>I</i>	Impacto total

Para este trabajo, el análisis y evaluación de riesgo se basa en Reyes (2013), solo que adaptada a daños generados por eventos de oleaje extremo, evaluados a partir de un análisis extremo de cotas de inundación y un análisis cualitativo de vulnerabilidades para determinar el impacto.

La probabilidad de ocurrencia de la amenaza *P* se define por la ocurrencia de eventos de oleaje extremo caracterizados por las cotas de inundación *CI* las cuales son sometidas a un análisis de clima extremo. De este estudio se obtienen los diferentes escenarios de probabilidad de excedencia de *CI* que son equivalentes a *P* (Tabla 5-2).

El impacto *I* se manifiesta cuando las vulnerabilidades de un sistema se ven expuestas al momento de presentarse la amenaza, en este caso los eventos de oleaje extremo. Su análisis cualitativo resulta de los daños provocados por estos eventos. Los daños se clasifican según su severidad asignándoles un factor de acuerdo a si son despreciables, menores, moderados, serios o severos (Tabla 4-4).

3.1.1 AMENAZA

En este trabajo la amenaza es representada por los eventos de oleaje extremo (EOE), caracterizados por la cota de inundación. Estos eventos se cuantifican mediante la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P . Según Ortlieb (1994) estos sucesos poseen una frecuencia de una o dos veces al año con mayor intensidad cada ciertos años debido a que son considerados un fenómeno que se da bajo ciertas condiciones meteorológicas y oceanográficas.

Últimamente estos eventos extremos e inusuales se manifiestan en la V región con mayor frecuencia. Los casos ocurridos en Julio de 2013, Agosto de 2015 y el 22 de Enero de 2016 reflejan el severo impacto en términos de daños de infraestructura e incluso en algunos casos, pérdidas humanas.

El estudio de la amenaza se ha desarrollado mediante un análisis de clima extremo de cotas de inundación (CI) que a su vez se definen por las variables de *runup*, marea astronómica y marea meteorológica para cada sitio de estudio.

3.1.1.1 Mareas

La marea astronómica se asocia al cambio periódico del nivel del mar producido por las fuerzas gravitacionales que ejercen el Sol y la Luna sobre la Tierra. Fenómenos ocasionales como los vientos, las lluvias y los referidos a condiciones meteorológicas y oceanográficas también provocan variaciones del nivel del mar correspondientes a la marea meteorológica.

En cuanto a su definición, las mareas son ondas largas que poseen una longitud mucho mayor a la relacionada con la profundidad a la que se propagan ($h/L \ll 1$) con períodos extremadamente grandes. Adicionalmente, el nivel del mar en cualquier punto de la costa viene determinado fundamentalmente por las ondas largas, por lo que conocer las cotas de inundación exige un estudio de mareas (GIOC, 2000).

Cuando una tormenta de oleaje coincide con una marea alta, el aumento del nivel del mar puede ser un tanto catastrófico (CEM, 2003). Debido a esto es importante considerar los niveles de marea para calcular la cota de inundación, ya que esta determina la probabilidad de ocurrencia de la amenaza.

Mareas Astronómica y Meteorológica

En GIOC (2000), se denomina marea astronómica o *MA* a los movimientos regulares de ascenso y descenso del nivel del mar con períodos sumamente largos respecto a los del oleaje, y que se producen por efectos gravitacionales en el sistema Tierra-Luna-Sol. En consecuencia, cualquiera sea la profundidad de su propagación, esta se da en profundidades reducidas ($h/L \ll 1$).

La predicción de la marea puede estimarse mediante un análisis armónico a partir de la serie temporal de datos de años anteriores obtenida por mareógrafos. Esta serie de datos es ajustada por el método de mínimos cuadrados utilizando el algoritmo de la ecuación (3.2) (Dronkers, 1964; citado en GIOC, 2000).

$$\eta(\tau) = a_0 + \sum_{n=1}^k a_n \cos(\omega_n t + \alpha_n) \quad (3.2)$$

Donde:

- $\eta(\tau)$ Nivel del mar en un instante dado
- a_0 Amplitud del nivel medio respecto a una referencia establecida
- a_n Amplitud de la n-ésima componente
- α_n Fase de la n-ésima componente
- ω_n Frecuencia angular de la n-ésima componente

Las variables asociadas a la n-ésima componente se relacionan a la serie de datos que se obtenga. Cuanto mayor sea esta, mayor será la precisión de la predicción, puesto que se podrá estimar un número mayor de componentes armónicas de forma más definida.

La marea meteorológica, denominada *MM*, se relaciona con los eventos de oleaje extremo (*storm surge*) debido a las perturbaciones atmosféricas caracterizadas por las bajas presiones y fuertes vientos. De acuerdo a esto, la *storm surge* representa la respuesta de la superficie del agua al esfuerzo de corte generado por el viento y los campos de presión atmosférica. La *MM* produce aumentos a corto plazo, del orden de horas, en el nivel del mar por encima de los niveles normales. Esto ocurre especialmente cuando el frente de tormenta coincide con una marea alta local (CEM, 2003).

En este estudio, la *MM* se asume como el residuo entre la serie temporal del nivel del mar y la serie temporal de los niveles de la *MA* obtenida del análisis armónico.

Nivel de Marea

Como lo señala GIOC (1998), el nivel de marea es la suma entre los niveles de la *MA* y la *MM* según se expresa en la ecuación (3.3).

$$Z_{NM} = Z_{MA} + Z_{MM} \quad (3.3)$$

Donde:

Z_{NM} Nivel de marea

Z_{MA} Nivel de marea astronómica

Z_{MM} Nivel de marea meteorológica

Nivel Medio del Mar

Según la definición que establece el SHOA (1999), el nivel medio del mar (*NMM*) corresponde al promedio de las alturas horarias de la marea que puede ser diario, semanal, mensual o anual.

Para fines de esta tesis el *NMM* se define como el promedio del registro anual de los niveles de marea, siendo 1.65 m el promedio de los 20 años de data en el sector de estudio. A partir de este nivel ($NMM = 1.65 \text{ m}$) se adicionan los niveles de *MA*, *MM* y *runup* (R_u). Conjuntamente no se consideran efectos del cambio climático.

3.1.1.2 Oleaje

Conocer el comportamiento del oleaje en zonas costeras es fundamental para lograr el objetivo de esta tesis. Así la metodología para determinar *CI* requiere de una propagación desde aguas profundas, específicamente desde donde se encuentra situada la boya registrando la data de oleaje (Tabla 4-2), hasta los 18 m donde se aplica el cálculo de Ru_2 .

Propagación del oleaje

La propagación del oleaje desde aguas profundas a los sitios de estudio se realiza con el fin de calcular el *runup* y la cota de inundación. Para efectuar la propagación “el oleaje debe abarcar una cantidad mínima de datos, 20 años de *hindcasting*” (SHOA, 1999). Si se

considera realizar una propagación espectral de estos 20 años de data, los estados de mar a propagar serían 58400, ya que estos se registran cada 3 horas. Esto plantea que deben ejecutarse la misma cantidad de modelaciones para llegar a un registro de oleaje espectral en los sitios de estudio.

De acuerdo a CEM (2003), una alternativa de propagación es la propagación paramétrica donde se suponen espectros de forma Pierson-Moskowitz o Jonswap. El inconveniente de este método es que la propagación no es representativa de toda la energía del oleaje ni de los estados de mar caracterizados por espectros bi-modales tanto en aguas profundas como en la costa.

Conforma a lo anterior, se escoge un método de propagación propuesto por Domínguez (2011) el que consiste en; realizar una transferencia de espectros unitarios por medio de simulaciones de un modelo numérico, obtener los coeficientes de agitación de esta transferencia, introducir una base espectral completa de datos y finalmente calcular los espectros reales en los sitios de estudio.

En síntesis, el método de propagación de Domínguez (2011) se esquematiza en la Figura 3-1 y es utilizado en esta tesis debido a su corta inversión de tiempo. Los pasos son:

- 1) Crear espectros sintéticos en aguas profundas con altura de ola significativa de 1 m (unitaria), un rango de 13 direcciones entre 180 y 360 ° y un rango de 20 períodos entre 4 y 23 s. La combinación de estos espectros serían 160 casos a propagar representados por U_1, U_2, U_3 como ejemplo en la Figura 3-1.
- 2) Propagar estos espectros uno a uno en el modelo, obteniendo los espectros unitarios en los sitios de estudio (U'_1, U'_2, U'_3).
- 3) Utilizar la función de transferencia para obtener los coeficientes de agitación (α_1, α_2 y α_3) y aplicarla a cada espectro real R de la serie de tiempo (*hindcasting* de 20 años en aguas profundas), con el fin de conseguir los espectros equivalentes transformados en los sitios de estudio R' .

En la propagación espectral es importante considerar la misma discretización de direcciones y frecuencias espectrales en aguas profundas y en los sitios de estudio. Es decir; si se construyen los espectros unitarios con una discretización de 13 direcciones y 20 frecuencias, las salidas de los espectros unitarios propagados en el modelo, deben tener la misma cantidad de frecuencias y direcciones. La consideración es la misma

cuando se emplea la función de transferencia para determinar los α_k . Los espectros unitarios construidos para el modelo en aguas profundas deben interpolarse para coincidir con la discretización de los espectros reales también en aguas profundas. De esta manera los bins de energía coinciden y la transferencia espectral no se ve interrumpida.

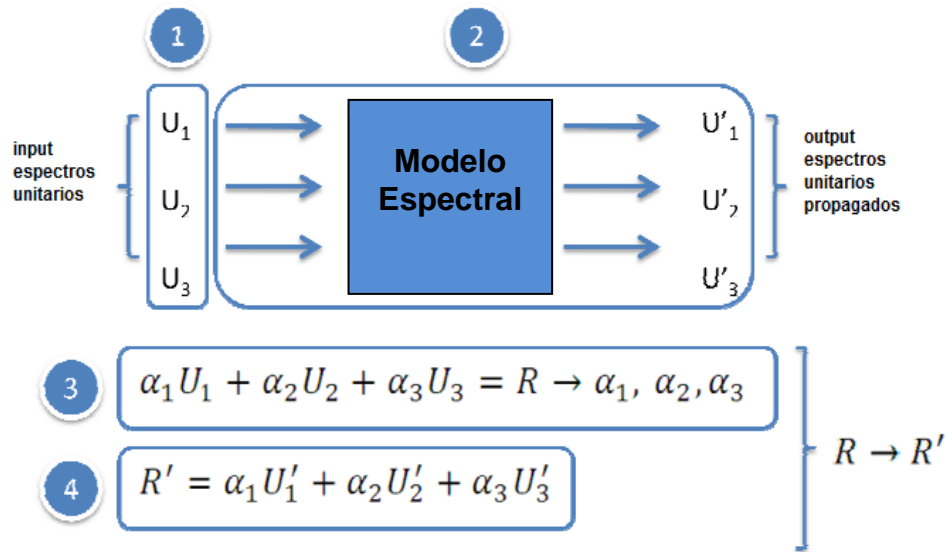


Figura 3-1: Esquema del método de transferencia de energía del oleaje. (Domínguez, 2011)

Por otro lado, teóricamente se sabe que la altura en el sitio de interés, H_p es producto de la altura en aguas profundas Hm_{o_0} y el coeficiente de agitación α para la Teoría Lineal del Oleaje o *TLO* como se muestra en la ecuación (3.4).

$$H_p = \alpha \times Hm_{o_0} \quad (3.4)$$

Luego α se expresa en la ecuación (3.5) a partir de la energía del oleaje en función de la frecuencia y la dirección espectral.

$$\alpha = \frac{\sqrt{\int_0^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} s_p(f, \theta) df d\theta}}{\sqrt{\int_0^{\infty} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} s_o(f, \theta) df d\theta}} \quad (3.5)$$

Donde:

- α Coeficiente de agitación del oleaje
- s_o Espectro energético en aguas profundas
- s_p Espectro energético en el sitio
- f, θ Frecuencia y dirección, respectivamente

Número de Iribarren

El tipo de rompiente define la manera en que rompe la ola cuando se acerca a la costa. De acuerdo a esto, “Galvin (1968) clasificó cuatro tipos de rompiente: *surging*, *collapsing*, *plunging* y *spilling*” (GIOC, 2000) cuya traducción es oscilación, colapso, voluta y descrestamiento, respectivamente. Para determinar el tipo de rompiente es necesario definir el número de Iribarren ξ .

$$\xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_p/L}} \quad (3.6)$$

Donde:

- ξ Número de Iribarren
- $\tan\beta$ Pendiente de playa (de cada sitio de estudio)
- H_p Altura de ola a los 18 m de profundidad
- L Longitud de onda a los 18 m de profundidad

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \approx T\sqrt{gh} \text{ (aguas someras)} \quad (3.7)$$

Los rangos de ξ según CEM (2003) se plantean sólo para tener un parámetro de clasificación del tipo de rompiente de los sectores costeros cercanos a los sitios estudiados. Estos rangos son:

- Surging/collapsing* $\xi > 3.3$
- Plunging* $0.5 < \xi < 3.3$
- Spilling* $\xi < 0.5$

Para efectos de esta tesis, ξ_0 se considera como ξ . Es decir, para los sitios de estudio en este estudio, el número de Iribarren se evalúa con la altura de ola en el sitio H_p y longitud de onda L a los 18 m de profundidad donde se obtuvo el oleaje propagado.

Wave Runup

El concepto de *wave runup* R_u según CEM (2003) se conoce como la elevación máxima del *uprush* del oleaje sobre el nivel medio del agua¹ y también como el nivel máximo de la elevación instantánea del agua η en la línea de costa (ver R_u en Figura 3-2 y Figura 3-3). El *uprush* es el salto del agua repentino que considera al *setup* y al *swash* como componentes, donde el primer término, se define como un incremento del nivel del mar en la zona de rompiente por efecto de una transferencia de momentum del oleaje a la columna de agua durante la rotura del oleaje (Winckler, Modelos hidrodinámicos en el medio marítimo, 2015). Por otro lado, Stockdon (2006), interpreta el término *swash* o máximo nivel dentro del espacio intermareal como la ubicación variable del nivel del agua entre el océano y la playa. Este término representa la componente permanente reflejada o vaivén del nivel del agua alcanzando su máximo en la línea de costa.

Otro concepto de *wave runup* citado en Stockdon (2006), donde se estudia la parametrización empírica de *setup*, *swash* y *runup*, establece que “parte de la energía disipada en la propagación del oleaje desde aguas profundas hacia la costa se convierte en energía potencial en forma de *runup* sobre la zona de mareas”.

La Figura 3-2 y la Figura 3-3 ilustran el *runup* a partir del nivel medio del agua (en inglés *Sea Water Level, SWL*).

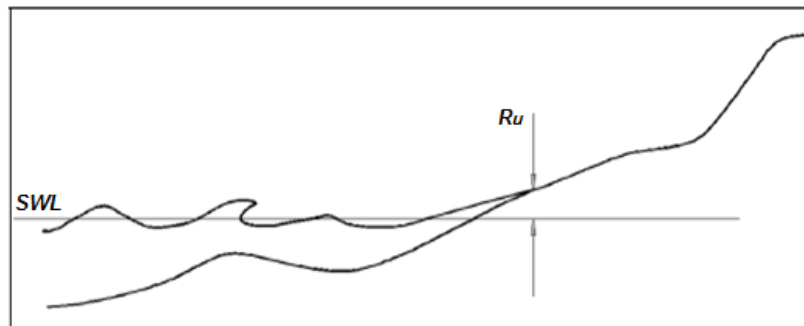


Figura 3-2: Definición para wave runup. (CEM, 2003)

¹ Entiéndase “nivel medio del agua” o cualquier otro concepto de nivel del agua como nivel del mar.

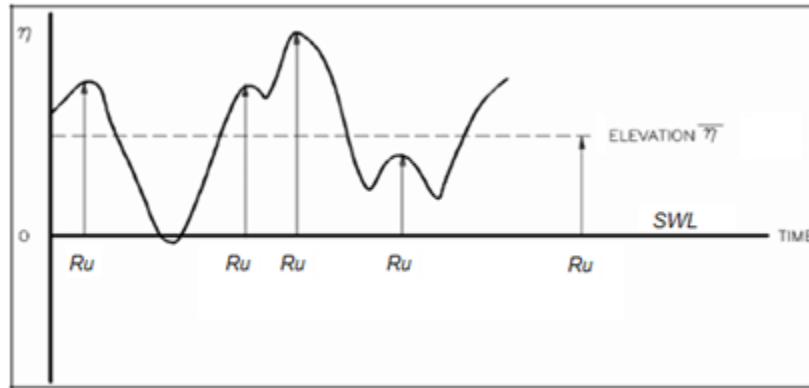


Figura 3-3: Definición de runup (Ru) como máximo local en elevación. (CEM, 2003)

En Stockdon (2006) se cita a Hunt (1959) quien usa un valor crítico basado en el peralte de la ola y la pendiente de la playa ($\tan\beta$) para definir un umbral entre condiciones de rotura y no rotura. Por ello, Hunt (1959) propuso una formulación empírica escrita en términos del número de Iribarren ξ y una constante K como se expresa en la ecuación (3.8).

$$\frac{R}{H} = K\xi \quad (3.8)$$

Varias expresiones de *runup* se calculan de acuerdo a la altura de ola en aguas profundas H_{m0} , sin embargo, "Holman (1986) encontró una clara relación entre el valor de excedencia del 2% del *runup* Ru_2 y el número de Iribarren ξ " (Stockdon, 2006). Esta relación se encuentra normalizada en función de la altura de ola a los 18 m de profundidad (H_p) como se expresa en la ecuación (3.9).

$$\frac{Ru_2}{H_p} = 0.83\xi + 0.2 \quad (3.9)$$

Donde:

- Ru_2 Valor de excedencia del 2 % del R_u
- H_p Altura de ola a los 18 m de profundidad
- ξ Número de Iribarren

3.1.1.3 Cota de Inundación

La cota de inundación se define según ecuación (3.10) (GIOC, 1998).

$$CI = Z_{MA} + Z_{MM} + Ru_2 \quad (3.10)$$

Donde:

- CI Cota de inundación
- Z_{MA} Nivel de la marea astronómica
- Z_{MM} Nivel de la marea meteorológica
- Ru_2 *Runup* (capítulo 3.1.1.2 y ecuación (3.9))

Una vez obtenidos los niveles de Z_{MA} , Z_{MM} y Ru_2 y sus respectivas series temporales, éstas se superponen para formar la de CI . Luego, se analiza el clima extremo de la serie de tiempo de CI obteniendo las distribuciones, los ajustes, las curvas de probabilidad y las bandas de confianza del 95% con el fin de determinar las probabilidades de ocurrencia de la amenaza en los sitios de estudio establecidos.

3.1.1.4 Clima Extremo

El clima extremo se asocia al concepto de *storm surges*, marejadas o tormentas de oleaje que surgen de perturbaciones atmosféricas caracterizadas por bajas presiones y fuertes vientos (CEM, 2003). Estas tormentas producen a corto plazo un incremento en el nivel del agua por sobre el nivel medio del mar. Esta situación se da especialmente cuando el frente de mal tiempo coincide con el evento de marea alta local.

GODA (2000) establece que, para determinar el diseño de una obra marítima, se requiere de un análisis de clima extremo donde en la mayoría de los casos la altura de ola, o la cota de inundación en este estudio, es superada bajo un determinado período de años denominado como período de retorno T_r . El T_r del análisis estadístico de los eventos extremos es para un riesgo admisible de 100 años, relacionado al tiempo de funcionamiento operativo que debe tener una estructura de construcción marítima de gran envergadura (ROM 0.2-90, 1990).

El método utilizado para este análisis, es el de Valores Extremos Anuales (*MVEA*). En él se escogen los máximos valores anuales de los 20 años de data para ajustarlos a una distribución Gumbel GIOG (1998), una de varias opciones. Antes de realizar este ajuste, los datos se disponen en orden creciente a decreciente para obtener los parámetros de la tendencia lineal, a partir de la cual se calcula el período de retorno correspondiente a los valores de CI . A continuación, se presentan las ecuaciones empleadas en la metodología

para el análisis de clima extremo, comenzando con la expresión (3.11) que especifica la distribución Gumbel según su probabilidad de ocurrencia.

$$p(X < x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)}} \quad (3.11)$$

Donde:

- p Probabilidad de ocurrencia de la distribución Gumbel
- x Valor de la cota de inundación
- A y B Parámetros de la tendencia lineal de la distribución de los datos para el ajuste Gumbel.

La distribución acumulativa de los datos según Gringorten se expresa como (3.12).

$$F_i = 1 - \frac{i - 0.44}{n + 0.12} \quad (3.12)$$

Siendo i el dato 1, 2, 3,... y n el total de datos, respectivamente. Para graficar la distribución acumulativa de los datos se utiliza la ecuación (3.13).

$$Y_i = -Ln(-Ln(F)) \quad (3.13)$$

Para calcular el período de retorno T_r , se determinaron λ (proporción media entre el número de eventos N_T y el período de años K) y la probabilidad de excedencia de la distribución Gumbel ($1 - F_i$). La ecuación (3.14) expone el término λ , que para valores extremos anuales es 1.

$$\lambda = \frac{N_T}{K} \quad (3.14)$$

Donde:

- λ Proporción media entre el número de eventos N_T y el período de años K
- $1 - p$ Probabilidad de excedencia de la distribución Gumbel

Luego el período de retorno T_r se expresa según ecuación (3.15).

$$T_r = \frac{1}{\lambda(1-F)} \quad (3.15)$$

Las bandas de confianza del régimen extremal de CI se calculan a partir de las ecuaciones (3.16) y (3.17) (Goda, 2000).

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{[1.0 + a(y_i - c + \alpha \ln v)^2]}}{\sqrt{N}} \quad (3.16)$$

$$a = a_1 \exp \left[a_2 N^{-1.3} + k(-\ln v)^{1/2} \right] \quad (3.17)$$

La ecuación (3.17) es parte de la ecuación (3.16) donde:

σ_i	Desviación estándar para la distribución Gumbel
y_i	Ajuste Gumbel
c	1
α	1.33
a_1	0.64
a_2	9
N	Número de datos, 21
k	0.93
v	1

La desviación relativa para construir las bandas de confianza del 95% es

$$\sigma_r = \sigma * \sigma_{CI} * 0.95 \quad (3.18)$$

Donde σ_{CI} es la desviación estándar de los datos de cota de inundación. Luego, las bandas de confianza se construyen con la ecuación (3.19).

$$\mu = CI_i \pm \sigma_{r_i} \quad (3.19)$$

Donde:

μ	Banda o intervalo de confianza
CI_i	Dato i de cota de inundación
σ_{r_i}	Desviación relativa para cada dato i

3.1.2 IMPACTO

De acuerdo a Reyes (2013), “el impacto es el conjunto de daños o pérdidas que afectan a la sociedad y que se relacionan con las características de los deterioros provocados por la

amenaza sobre las vulnerabilidades del sistema”. En otros términos, al presentarse estos eventos inusuales de la naturaleza, el sistema se ve amenazado y queda expuesto a daños que califican dentro de lo que se considera como impacto. El daño no sólo se refiere a los daños físicos, sino también a aquellos que se prolongan en el tiempo después que ocurre el impacto.

El impacto se ve amplificado con el hecho de no conocer las vulnerabilidades tanto humana, económica y socio-ambiental o en otros términos, por no conocer qué componentes del sistema están expuestos a las amenazas naturales. Las vulnerabilidades de un sistema humano (en este caso, la zona urbana costera), se pueden sistematizar en un árbol de problemas a partir del cual se analizan los principales aspectos de vulnerabilidad en una lógica de causa-efecto.

Por otro lado, las vulnerabilidades asociadas a los procesos de toma de decisiones a nivel gubernamental, el déficit de medidas de mitigación en el borde costero, los protocolos de actuación en zonas de vulnerabilidad conocida y los datos catastrales son factores que pueden magnificar el impacto, y eventualmente ralentizar la recuperación a la normalidad.

El factor de impacto es asignado a cada sitio de estudio de acuerdo a una escala cualitativa de daños en términos de severidad.

Para la evaluación de impacto, se utilizan como referencia las cartas de inundación por tsunami (SHOA, 2012) y los antecedentes de monografías de niveles de terreno o cotas sobre el nivel medio del mar.

En la Figura 3-4 se esquematiza el flujo de los criterios de evaluación de impacto, donde se muestra que el factor de impacto se resuelve a partir de una escala cualitativa o cuantitativa. Para fines de este estudio, como la información no es suficiente, se asume un impacto máximo para cada daño refiriéndose a un impacto serio o severo de acuerdo a una escala de severidad (Tabla 4-4).

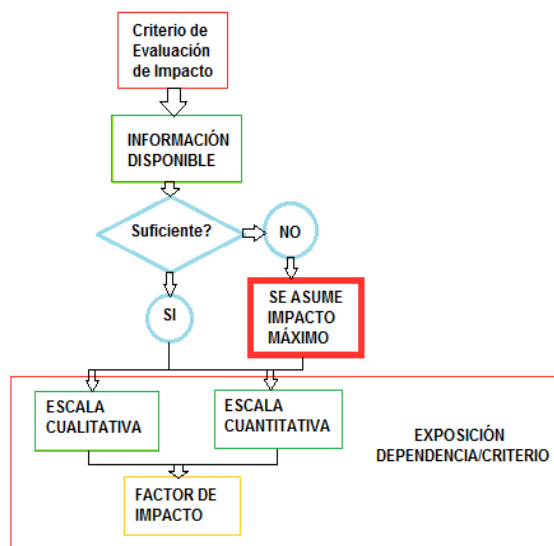


Figura 3-4: Diagrama de flujo de los criterios de evaluación de impacto (Reyes, 2013)

3.1.2.1 Vulnerabilidad

De la ocurrencia de eventos de oleaje extremo surge la necesidad de identificar las vulnerabilidades en las zonas urbanas costeras expuestas a esta manifestación particular del oleaje.

En Reyes (2013), según la Prefectura Yamaguchi en el Comité de Prevención por desastres de terremoto 2008, se define vulnerabilidad como “la estimación de los daños causados por el desastre asociados a categorías”. Las vulnerabilidades de un sistema humano se pueden sistematizar en un árbol de problemas a partir del cual se analizan los principales aspectos de vulnerabilidad en una lógica de causa-efecto, organizándose en vulnerabilidades humanas, económicas y socio-ambientales (Figura 4-5).

Otra definición de vulnerabilidad, es “cuando una determinada zona costera; llámese la población, los ecosistemas, las infraestructuras, los servicios y/o actividades económicas, se ven afectados por un agente de una intensidad determinada. El concepto de vulnerabilidad se explica con el propósito de cuantificar el daño y especificar la capacidad que tienen las zonas, regiones, entidades o entes de anticiparse, enfrentarse, resistir y recuperarse del impacto producido por un agente de una magnitud dada, entendiendo que la vulnerabilidad está constituida por múltiples factores institucionales, económicos y socio-culturales. Desde el punto de vista ingenieril, la vulnerabilidad se puede entender como una función matemática definida según el grado de pérdida del elemento afectado,

dependiendo de la intensidad del agente. Para propósitos socioeconómicos más generales, la vulnerabilidad es un concepto definido de forma menos estricta, y en muchos casos basta con clasificar las unidades de estudio mediante una escala graduada entre sin daños y daños totales” (IH, 2012).

3.1.2.2 Exposición

La exposición se entiende como aquella parte del sistema analizado que se encuentra en intersección con la amenaza que se concreta. En tal caso, de haber componentes vulnerables expuestas, se puede configurar un Impacto. De otro modo, Reyes (2013) expone que las vulnerabilidades socio-económicas y físicas se caracterizan en términos de la exposición al verse desafiadas con la ocurrencia de un evento.

Otra definición de exposición, es “referida a la zona, región, entidad o ente que se ve afectado ante la ocurrencia de un evento asociado a un agente, en este caso el oleaje. Este agente se relaciona al riesgo de una zona que incluye la orografía de la costa y la disposición de las actividades distribuidas a lo largo de la misma. Los agentes o peligros establecidos aquí como la amenaza, intervienen en la estimación del riesgo y dependen de otros agentes o variables que tienen una determinada distribución de probabilidad”. (IH, 2012).

Para este caso, la exposición del sistema de vulnerabilidades se define con la magnitud de la cota de inundación *CI*.

4. METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo se establece de acuerdo a la definición de riesgo en la ecuación (3.1) y como se esquematiza en la Figura 4-1. Según este esquema, la evaluación de riesgo consta de tres etapas: análisis de amenaza, de impacto y de riesgo. El análisis de amenaza considera estudiar la magnitud y la probabilidad de ocurrencia de la amenaza a través de la cota de inundación. Por otro lado, el análisis de impacto requiere un estudio de las vulnerabilidades del sistema y la magnitud de la amenaza para determinar el grado de exposición del sistema.

En el desarrollo del análisis de amenaza se realiza una recopilación y estudio de antecedentes para posteriormente ejecutar un análisis armónico, una interpolación y grillado numérico y una propagación de oleaje. Estos tres métodos se emplean con el fin de caracterizar la amenaza por medio de la cota de inundación CI , cuyo cálculo conduce a su magnitud, con la cual se determina la exposición del sistema.

Posteriormente, a la cota de inundación se le calcula su probabilidad de ocurrencia. Ésta corresponde a la excedencia probabilística de CI obtenida del análisis de clima extremo y equivale a la probabilidad de ocurrencia de la amenaza denominada P , a la cual se le asignó una escala de probabilidad de 1 a 5, siendo 1 la condición “muy probable” de que se exceda determinada CI y 5, la condición “muy poco probable” de que se exceda determinada CI . Esta última condición, en términos de cota, es la más severa (Tabla 5-2).

El análisis de impacto por su parte, corresponde a determinar las vulnerabilidades del sistema y el grado de exposición de cada una de ellas para el escenario de amenaza. El impacto conserva la estructura de las vulnerabilidades, estableciéndose como víctimas humanas, impacto económico e impacto socio-ambiental.

Finalmente, el riesgo se evalúa por medio de una matriz que dispone en sus filas; la condición de P y en sus columnas, el impacto. La operación matricial de evaluación de riesgo se realiza de igual forma para cada sitio de estudio.

En la Figura 4-1 se presenta el esquema metodológico de este trabajo. El lado izquierdo, resume el procedimiento de análisis para la amenaza y el derecho, para el impacto. Los cuadros de color rojo en la amenaza, representan los casos conservador y no

conservador de cálculo del *runup*, los cuales dependen del período que se utilizó para calcular la longitud de onda L a los 18 m de profundidad.

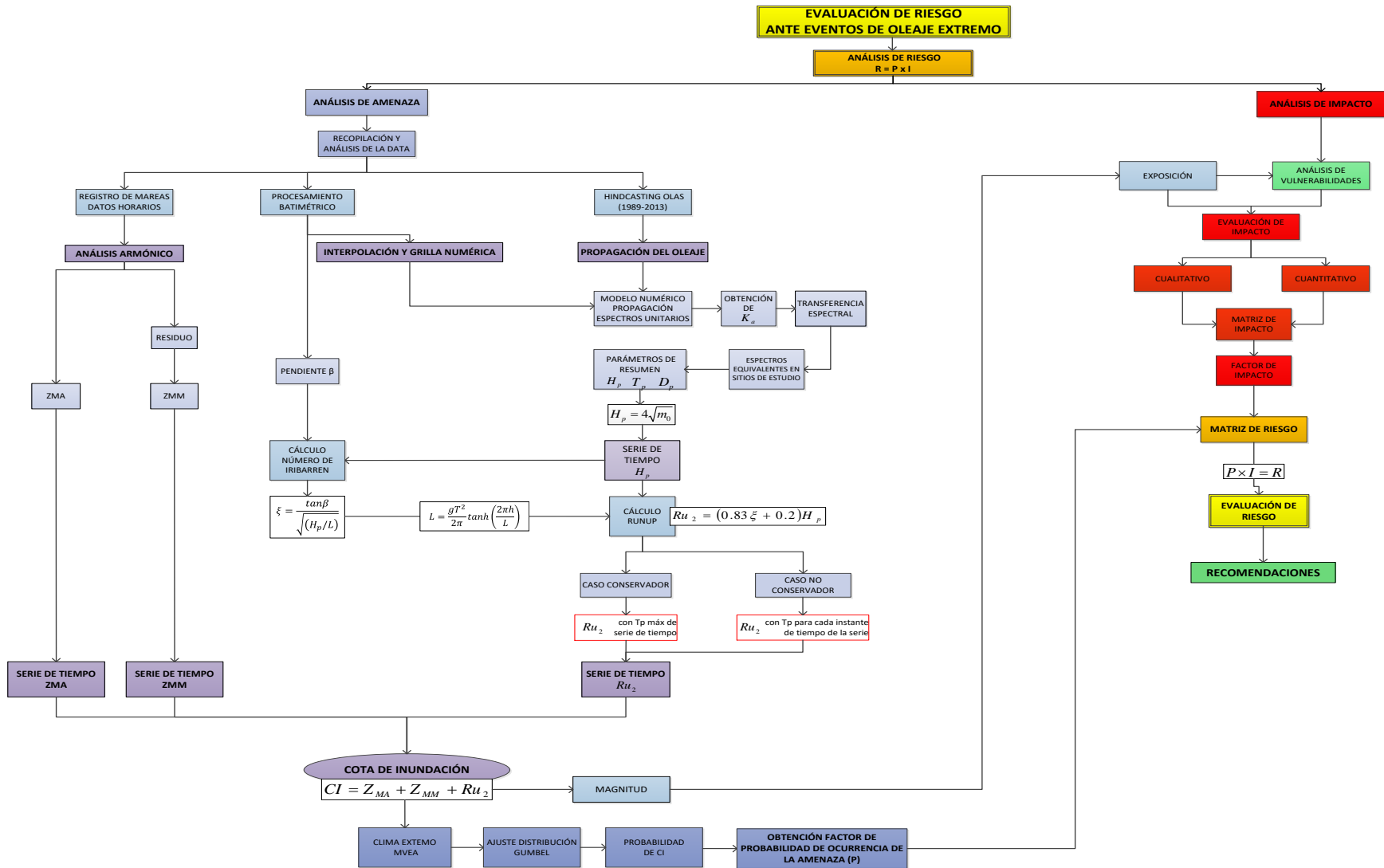


Figura 4-1: Esquema general Proyecto de Tesis. Elaboración propia Microsoft Visio

4.1 ANÁLISIS DE AMENAZA

Como se definió en el capítulo 3.1.1, la amenaza está caracterizada por la ocurrencia de eventos de oleaje extremo. Su análisis considera el cálculo de la magnitud de la cota de inundación CI , que a su vez determinará la exposición para el análisis de las vulnerabilidades. Una vez calculada la CI , ésta se somete a un estudio de clima extremo que establece la condición de P , probabilidad de ocurrencia de la amenaza.

La probabilidad de ocurrencia de la amenaza P es equivalente a la excedencia probabilística de CI obtenida del análisis de clima extremo. De esta manera, la condición de P se establece con una escala de factores donde la probabilidad de que se exceda determinada CI es; 1 la condición “muy probable”, 2 “probable”, 3 “medio probable”, 4 “poco probable” y 5 “muy poco probable” siendo esta última la cota más severa (Tabla 5-2).

Los estudios involucrados en el análisis de amenaza se describen a continuación.

4.1.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA DATA

La recopilación de la data se centró en la búsqueda de antecedentes de oleaje con información histórica de los eventos de marejadas. Se recopilaron además datos de los niveles del mar para la misma data histórica del oleaje y las batimetrías de los sectores involucrados en el estudio.

El proceso y análisis de estos antecedentes se da a conocer en los capítulos correspondientes.

4.1.1.1 *Registro de Mareas*

Los datos del nivel del mar fueron proporcionados por el SHOA para el mismo período de tiempo de la data de oleaje utilizada entre los años 1993 y 2013. Esta data contiene mediciones con un intervalo de 1 hora a partir de mareógrafo CENDHOC, localizado en Latitud: 33° 01' 38" Longitud: 71° 37' 33", Región de Valparaíso.

Los datos faltantes fueron extraídos de la estación de Monitoreo de *Intergovernmental Oceanographic Commission* (Sea Level Station Monitoring Facility).

Las mediciones sin registro se asumieron con el valor del Nivel Medio del Mar, NMM correspondiente a 1.65 m. Este nivel es la elevación promedio de los niveles del mar para los 20 años de mediciones.

Una vez recopilada y mejorada la data de mareas, se realizó un análisis armónico con el fin de determinar los niveles de marea astronómica Z_{MA} y marea meteorológica Z_{MM} .

4.1.1.2 Procesamiento Batimétrico y Pendiente Media

La data de batimetría se adaptó a partir de 4 cartas náuticas solicitadas al Centro Nacional de Datos Hidrográficos y Oceanográficos de Chile ($CENDHOC$) del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA. Las cartas son:

- Carta náutica de Valparaíso (N° CL2CO040.000), escala 1:500.000
- Carta náutica de la Bahía Quintero a Bahía Valparaíso (N° 4320), escala 1:50.000
- Bahía de Concón (N° 4322), escala 1:10.000
- Club de Yates de Higuierillas (N° 4322), escala 1:1.500

Con el propósito de desarrollar un modelo de estimación digital, se ejecutaron los siguientes pasos:

- 1) Configurar todas las cartas en Datum UTM WGS84 y Huso 18 S.
- 2) Abrir las 4 batimetrías en Global Mapper.
- 3) Crear puntos para la línea de costa con la imagen satelital de fondo de la zona de estudio. A estos puntos se les asignó valor cero.
- 4) Chequear los 4 archivos batimétricos *.xyz juntos y por separado para evitar algún dato anómalo en cuanto a profundidad y topografía.
- 5) Unir todas las batimetrías y cortar la cuadrícula conforme a la profundidad de la boya y el sector de estudio en la costa.
- 6) Exportar como un único archivo *.xyz con la misma unidad de georreferenciación, Datum UTM WGS84 y Huso 18 S.

Adicionalmente, la pendiente media para cada sitio de estudio, $\tan\beta$ se calculó a partir de la batimetría mediante un software de información geográfica, Global Mapper. En la Tabla 4-1 se especifican la ubicación geográfica de la profundidad y la pendiente de cada sitio de estudio.

Tabla 4-1: Información sitios de estudio

Nodo	Sitio estudio	WGS84 UTM H 18 S		profundidad	pendiente media
		Este m	Norte m	Z m	$\tan\beta$ m
1	Caleta Abarca - Av. La Marina	820115.3	6341345	-18.088	0.033
2	Av. Perú - Recta Las Salinas	821978.2	6343138	-18.024	0.055
3	Reñaca	822363.4	6346907	-18.088	0.037
4	Higuerillas - La Boca	824278.9	6353677	-18.019	0.022

PENDIENTE MEDIA

La pendiente media, $\tan\beta$ se determinó a partir de la batimetría en el software Global Mapper. En él se creó una grilla de elevación para después trazar el perfil que abarcó desde los 0 hasta los 20 m de profundidad aproximadamente, con una extensión en planta de 500~900 m mar adentro. Se consideraron 20 m de profundidad, de modo de cubrir los 18 m de los sitios de estudio donde se obtuvieron los resultados de la propagación (Tabla 4-1).

Cabe destacar que $\tan\beta$ se calculó trigonométricamente en dirección perpendicular a la playa de cada sitio, tomando como referencia la línea de costa o superficie del agua en 0 m (Ver más detalles en Pendiente Media del ANEXO N°2: OLEAJE).

El cálculo de $\tan\beta$ se obtiene para posteriormente calcular el número de Iribarren ξ , variable de la definición de *runup* (3.9).

4.1.1.3 Data de Oleaje

Se utilizó un *hindcasting* disponible de 24 años a partir de 1989, proporcionado por el laboratorio de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso en Santiago generado en el marco del proyecto “Un Atlas de Oleaje para Chile”. Esta data contiene mediciones con un intervalo de 3 horas a partir de la boya FUGRO que se localizó aproximadamente a unos 5000 metros de profundidad (Figura 4-2). De la base estadística de 24 años se analizaron sólo 20 años (1993-2013) debido a que el año 1991 estaba incompleto y a que el SHOA (2012) establece como mínimo 20 años de estadística de oleaje para su estudio. La información extraída de la boya se detalla en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: información data de oleaje en aguas profundas

Boya FUGRO	Ubicación Geográfica WGS84 UTM H 18 S			Profundidad m	Información t	
					Inicio	Fin
	639647.42	6347003.66	m	5000	01/06/1993 0:00	30/09/2013 18:00

El comportamiento del oleaje en aguas profundas fue analizado con un estudio de clima medio (Ver Aguas Profundas del ANEXO N°2: OLEAJE).

4.1.2 ANÁLISIS ARMÓNICO

Los niveles de marea astronómica Z_{MA} se calcularon a partir de un análisis armónico por medio del software T-Tide basado en la ecuación (3.2). Este análisis se aplicó a toda la data histórica de niveles del mar conforme al mismo tiempo de data del oleaje (20 años). Los niveles de marea meteorológica Z_{MM} se obtuvieron del residuo entre los datos temporales del nivel del mar y Z_{MA} .

Una vez conseguidos ambos niveles de marea, se construyen las señales temporales de Z_{MA} y Z_{MM} para toda la data logrando el resultado de este análisis. La superposición de estas dos señales junto a la señal temporal de niveles de *runup* (Ru_2) da como resultado la señal temporal de la cota de inundación *CI*.

Cabe señalar que la variación de la marea se consideró en este análisis y no en la propagación del oleaje. Adicionalmente el análisis armónico se utilizó para los 4 sitios de estudio por igual, ya que todos pertenecen a la misma zona de la data.

4.1.3 INTERPOLACIÓN Y GRILLA NUMÉRICA

Luego de haber organizado la batimetría (capítulo 4.1.1.2) se determinaron las grillas y la interpolación de cada una de ellas por medio de un software de modelado de superficies 3D (Surfer). Los pasos fueron:

- 1) Cargar en Surfer la batimetría como data de grilla en formato *.xyz, exportada desde Global Mapper.
- 2) Definir el método de interpolación como Kriging.
- 3) Establecer los puntos geográficos mínimo y máximo de cada grilla.

- 4) Determinar el espaciamiento de interpolación de cada grilla: 500, 100 y 25 m para las grillas G (grande), M (media) y C (chica), respectivamente.
- 5) Generar archivos *.grd y posteriormente *.dat para utilizarlos como dato de entrada en el modelo Swan.

En la Figura 4-2 se ilustran la batimetría de las tres grillas del enmallado para el modelo numérico, la ubicación de la boya FUGRO y los cuatro sitios de estudio.

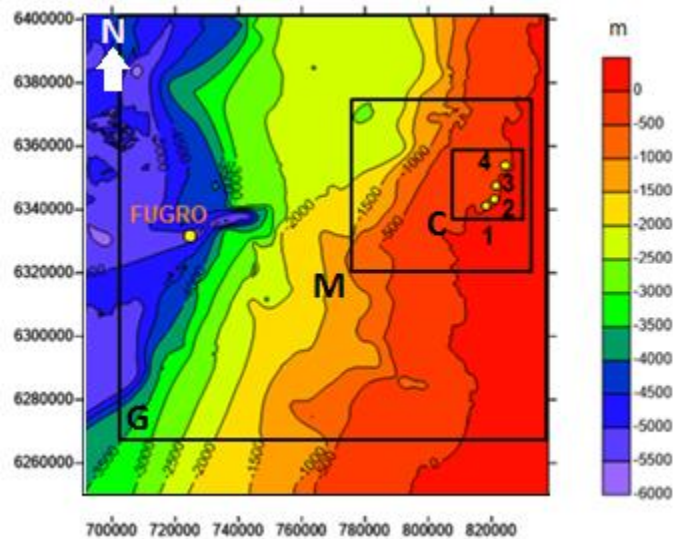


Figura 4-2: Batimetría y enmallado. C: Malla chica, M: Malla media, G: Malla grande.

Elaboración propia, Surfer

La descripción de cada grilla es:

- Grilla G. Mide 200 x 160 Km² abarcando profundidades donde se encuentra situada la boya FUGRO (5000 m) la cual contiene la data de oleaje en aguas profundas para realizar la propagación.
- Grilla M. Mide 47 x 51 Km² abarcando hasta los 2000 m de profundidad aproximadamente.
- Grilla C. Mide 22 x 21 Km² abarcando hasta los 130 m de profundidad aproximadamente.

4.1.4 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Para la propagación del oleaje desde aguas profundas a los sitios de estudio, se ejecutaron los siguientes pasos:

1. Se realizó, mediante un código Matlab, la lectura de las grillas para la modelación y de los puntos geográficos de extracción equivalentes a los sitios de estudio donde se obtienen los resultados del modelo.
2. Se establecieron las condiciones de borde para el modelo creando espectros unitarios en aguas profundas (U_i en Figura 3-1).
3. Se corrió el modelo para obtener los espectros transformados (U'_i en Figura 3-1) en los sitios de estudio.
4. Se determinaron los coeficientes de agitación (α en Figura 3-1) por medio de la función de transferencia espectral basada en la metodología de Domínguez (2011). Los α se aplicaron para cada espectro real R del *hindcasting* de 20 años en aguas profundas, con el fin de conseguir los espectros equivalentes transformados en los sitios de estudio (R' en Figura 3-1).

A partir de la información espectral en los 4 sitios de estudio, se obtuvieron los parámetros de resumen. Entre ellos, la altura de ola a los 18 m de profundidad H_p . Posteriormente, con las alturas de ola a los 18 m de profundidad se calculó el *runup* como se describe en el capítulo 4.1.6.

Cabe señalar que en este estudio sólo se analiza la amenaza mediante la cota de inundación, es decir se considera sólo la altura del oleaje y no su dirección, ya que ésta localmente y de forma conservadora se asume ortogonal a la orilla de playa.

4.1.5 CÁLCULO NÚMERO DE IRIBARREN

El tipo de rompiente se estableció por el número de Iribarren, ξ a partir de la ecuación (3.6). La longitud de onda L es proporcional al período T en su equivalencia en aguas someras (3.7) por lo que L se obtuvo de dos formas: caso conservador y caso no conservador esquematizados en la Figura 4-1 en líneas de color rojo (ver detalle en el capítulo 4.1.6).

4.1.6 CÁLCULO WAVE RUNUP

El *runup* Ru_2 se calculó de acuerdo a Stockdon (2006) con la ecuación (3.9) a partir de la serie temporal de H_p obtenida en la propagación.

Una de las variables de Ru_2 es el número de Iribarren ξ , que a su vez contiene a la longitud de onda L calculada en base al período T para dos casos:

CASO 1: CONSERVADOR

La serie temporal de *runup* Ru_2 en este caso, se calculó para una sola longitud de onda L a los 18 m de profundidad. Es decir, L (variable del número de Iribarren ξ) se estimó en su expresión de aguas someras considerando sólo el período máximo de toda la serie de T_p , parámetro de resumen obtenido de la propagación espectral. Con este período se obtuvo una longitud de onda mayor a la considerada con un período menor, debido a que L , ξ y Ru_2 son directamente proporcionales al período. La altura de ola considerada en el cálculo de Ru_2 fue cada dato de la extensión temporal de H_p .

CASO 2: NO CONSERVADOR

En este caso no conservador, la longitud de onda L es calculada para cada dato de T_p en su extensión temporal, dando como resultado una serie de tiempo de L . Con ella se calcularon el número de Iribarren y el *runup* para toda su extensión, construyendo así la serie temporal de Ru_2 . La altura de ola considerada en el cálculo de Ru_2 fue cada dato de la serie temporal de H_p .

Si bien este caso es más realista, en cálculos posteriores se consideró sólo el Caso Conservador, puesto que arrojó un mayor Ru_2 con una diferencia media de 20 cm respecto al otro.

Las series temporales de ambos casos se observan en Wave Runup del ANEXO N°2: OLEAJE.

4.1.7 COTA DE INUNDACIÓN

El cálculo de la cota de inundación CI se realizó a partir de la ecuación (3.10). Las series temporales de Z_{MA} , Z_{MM} y Ru_2 se superpusieron para formar la señal temporal de CI .

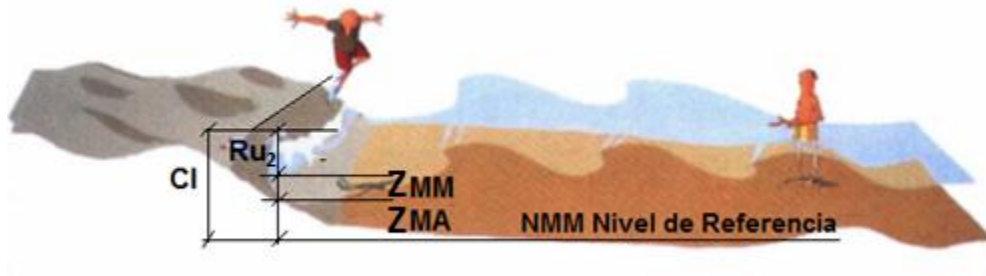


Figura 4-3: Niveles de la Cota de Inundación. (GIOC, 2000)

Una vez obtenida la serie temporal de CI en cada sitio de estudio (ver Cota de Inundación en ANEXO N°2: OLEAJE), se determinaron para los 20 años, las curvas de probabilidad de CI como se describe a continuación.

4.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA

La amenaza es evaluada con el estudio de clima extremo aplicado a las cotas de inundación CI . De ahí, que se obtiene la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P determinada a partir de la excedencia de CI como se indica en el capítulo 4.2.1 próximo y se establece en la Tabla 4-3.

4.2.1 CLIMA EXTREMO

El análisis de clima extremo se basó en el método $MVEA$ y fue aplicado a la señal temporal de CI . El procedimiento fue el siguiente:

1. Elegir los datos extremos de CI de cada año, ($MVEA$).
2. Ordenar los 21 datos de CI de mayor a menor.
3. Calcular la probabilidad de ploteo (F_i) de los datos con Gringorten según (3.12).
4. Plotear los datos según (3.13).
5. Aplicar la tendencia lineal de los datos.

6. Obtener los parámetros de la ecuación lineal anterior.
7. Realizar el ajuste de distribución Gumbel (3.11).

Luego para el cálculo del período de retorno T_r se procedió a:

1. Obtener la frecuencia de excedencia a partir de la distribución acumulativa Gringorten ($1 - F_i$).
2. Adquirir la proporción media λ entre el número de eventos N_T y el período de años K , según (3.14)
3. Calcular T_r según (3.15).

Para obtener las bandas de confianza del 95% del régimen extremal de CI se continuó con:

1. Calcular la desviación estándar para la distribución Gumbel según (3.16) para cada dato de y_i .
2. Calcular la desviación relativa según (3.18).
3. Obtener las bandas de confianza según (3.19).

Como resultado de este análisis se obtuvieron las curvas de probabilidad de la cota de inundación CI para cada sitio de estudio. La condición de probabilidad de ocurrencia de la amenaza P , se determinó a partir de la excedencia de CI como se establece en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Probabilidad y factor de P según probabilidad de excedencia de CI

<i>Probabilidad de excedencia de CI</i>	<i>Probabilidad de ocurrencia de la amenaza, P</i>	
	<i>probabilidad de P</i>	<i>factor de P</i>
90%	muy probable	1
60%	probable	2
50%	medio probable	3
20%	poco probable	4
5%	muy poco probable	5

El factor de P^2 o escala de valores de 1 a 5 asignada a la probabilidad de P , representa la severidad en cuanto a la magnitud de la cota de inundación. Por ejemplo: se le asigna un valor 1 a una probabilidad de un 90% que se exceda determinada CI , ya que ésta es más frecuente por su baja magnitud. En caso contrario, se le asigna 5 a un 5% de que se exceda cierta CI , puesto que es la más severa en cuanto a magnitud, a pesar de que sea menos frecuente.

El análisis de amenaza se concretó con la construcción de una matriz donde se exhiben los sitios de estudio en sus filas y la condición de P en sus columnas de acuerdo a la magnitud de la cota de inundación (Tabla 5-2).

4.3 ANÁLISIS DE IMPACTO

Para estudiar el impacto se requiere un análisis de vulnerabilidades que está ligado a la exposición del borde costero y que a su vez, depende de la magnitud de la amenaza.

Este análisis considera el uso de una matriz de impacto (Tabla 4-5), constituida por criterios cualitativos y cuantitativos para tres categorías: víctimas humanas (VH), impacto económico (IE) e impacto socio-ambiental (ISA), como se esquematiza en los recuadros de color amarillo de la Figura 4-4. Las filas de la matriz se componen de estas categorías (VH , IE e ISA) y las columnas, de la clasificación de impacto en términos de severidad para 5 niveles, como se muestra en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Escala cualitativa para el factor de impacto en términos de severidad por daños.
(Reyes, 2013)

FACTOR DE IMPACTO	
DESPRECIABLE	1
MENOR	2
MODERADO	3
SERIO	4
SEVERO	5

² El factor de P es asignado a cada probabilidad de ocurrencia de la amenaza, como se indica en la Tabla 4-3, con la finalidad de simplificar la evaluación del riesgo.

Los criterios se especifican de acuerdo a los daños descritos para cada vulnerabilidad (recuadros de color verde en la Figura 4-4) relacionándolos a las tres categorías mencionadas. Los daños se definen por los eventos extremos históricos, principalmente de los últimos y por la exposición determinada en el análisis de amenaza. El detalle de los criterios asociados a cada vulnerabilidad se encuentra en el ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO y la matriz de impacto se presenta en la Tabla 4-5.

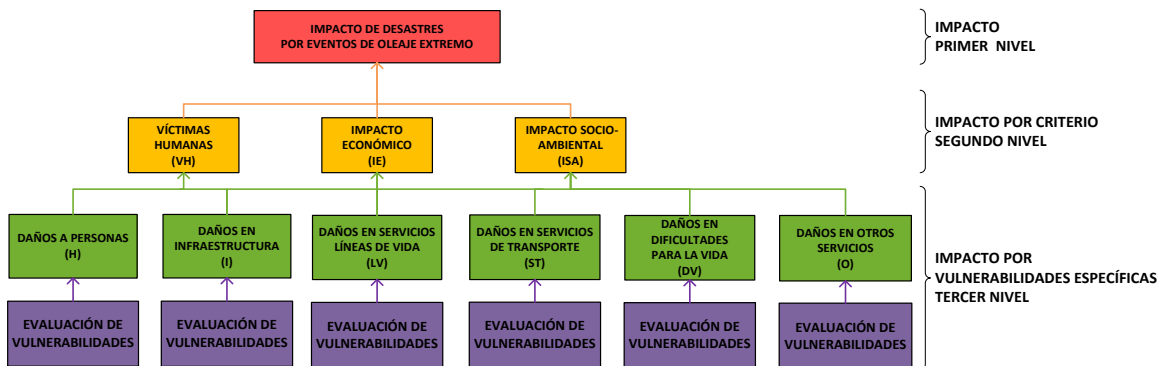


Figura 4-4: Estructura propuesta para la determinación del Impacto. (Reyes, 2013)

4.3.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDADES

El análisis de vulnerabilidades se desarrolló utilizando el método PCM (2010), considerando las siguientes etapas: i) identificar los actores involucrados en el sistema amenazado, ii) reconocer las causas y consecuencias del problema y iii) realizar un análisis FODA de las principales causas y consecuencias. El detalle de estas etapas se presenta en el ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO.

Tras el método PCM, se elaboró un árbol de problemas donde se resumen las vulnerabilidades en tres categorías: vulnerabilidades humanas, económicas y socio-ambientales, representadas en los recuadros de color anaranjado en la Figura 4-5. Los recuadros en color blanco representan los daños que podrían generarse tras el impacto de eventos de oleaje extremo. La especificación de estos daños ayudó a identificar las seis clases de vulnerabilidad: i) humanas, ii) infraestructural, iii) líneas de vida, iv) sistemas de transporte, v) dificultades para la vida y vi) otras, representadas en los recuadros de color verde.

De esta forma, los daños se asocian al impacto sobre alguna vulnerabilidad del sistema, estructurándose del mismo modo. Así, el impacto se analiza en base a tres categorías: víctimas humanas, impacto económico e impacto socio-ambiental, como se esquematiza en el diagrama de flujo de la Figura 4-4. La matriz de impacto (Tabla 4-5) completa este análisis definiendo los criterios para cada categoría y nivel de severidad de los daños (Tabla 4-4).

AMENAZA

EXPOSICIÓN

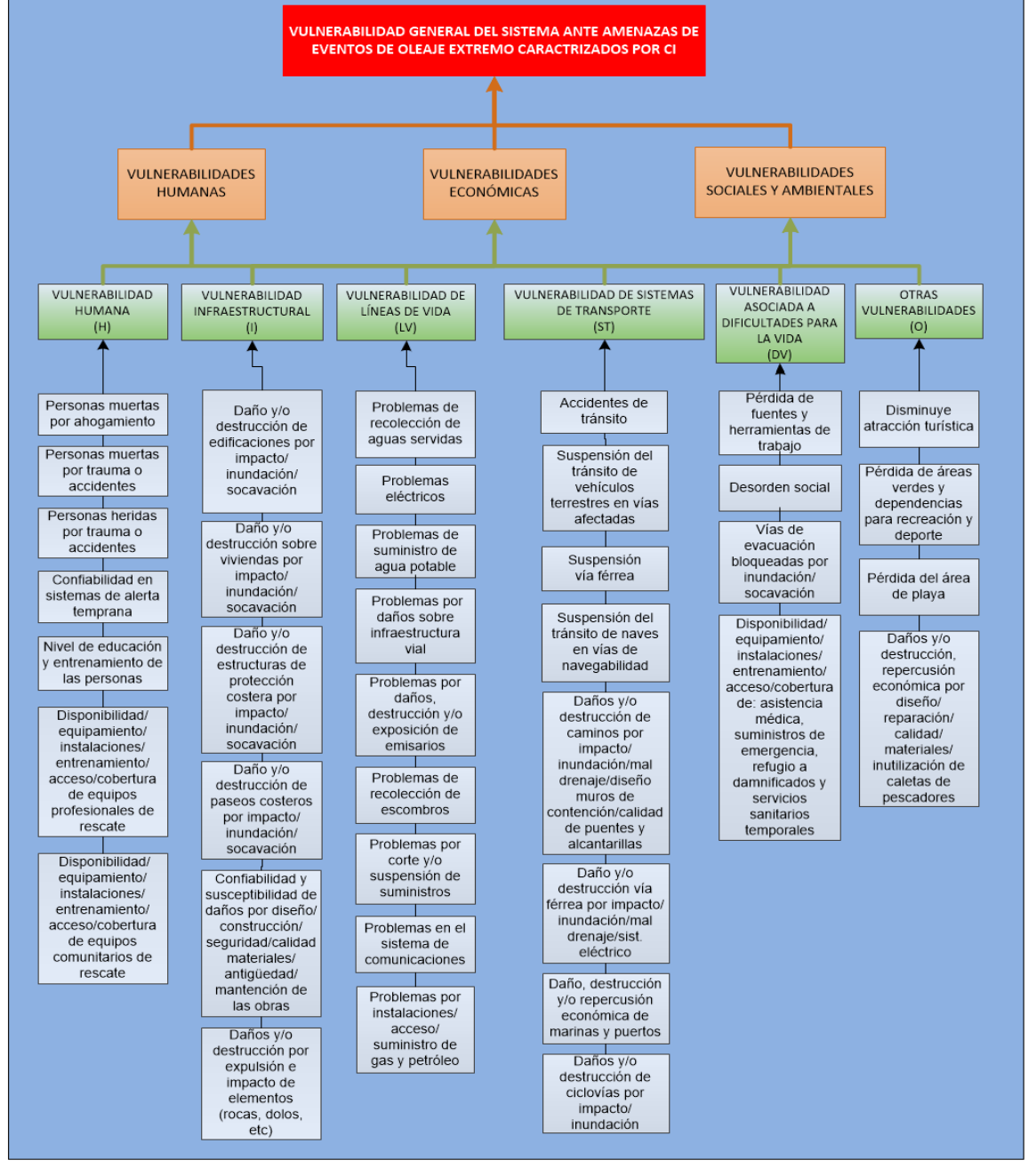


Figura 4-5: Árbol de problemas, vulnerabilidades y exposición. (Reyes, 2013)

Tabla 4-5: Matriz de Impacto

IMPACTO POR CRITERIO	SEVERIDAD DEL IMPACTO				
	DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
	1	2	3	4	5
VÍCTIMAS HUMANAS (VH)	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente: ninguna. - Cantidad de personas heridas por trauma o accidente: ninguna. - Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana: 100%. - Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%): 100%. - Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%): 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente: 1. - Cantidad de personas heridas por trauma o accidente: 3. - Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana: 70%. - Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%): 70%. - Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%): 70%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente: 2. - Cantidad de personas heridas por trauma o accidente: de 3 a 5. - Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana: 50%. - Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%): 50%. - Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%): 50%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente: 3. - Cantidad de personas heridas por trauma o accidente: de 5 a 8. - Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana: 20%. - Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%): 20%. - Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%): 20%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente: más de 3. - Cantidad de personas heridas por trauma o accidente: más de 8. - Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana: 0%. - Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%): 0%. - Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%): 0%.
IMPACTO ECONÓMICO (IE)	<ul style="list-style-type: none"> - % de daño en construcciones costeras habitacionales y privados por impacto/ inundación/ socavación: 0%. - Daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación: despreciables. - Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica: inexistentes. - Problemas en el sistema de comunicaciones: inexistentes. - Problemas por recolección de aguas servidas y escombros: inexistentes. - Daños sobre infraestructura vial: inexistentes. - Exposición y daños de emisarios: inexistentes. - Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas: despreciables. - Accidentes de tránsito: inexistentes. - Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas: no hay suspensión del tránsito. 	<ul style="list-style-type: none"> - % de daño en construcciones costeras habitacionales y privados por impacto/ inundación/ socavación: 5%. - Daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación: leves. - Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica: menores y no se requiere suministro. - Problemas en el sistema de comunicaciones: menores y no requiere ser sustituido. - Problemas por recolección de aguas servidas y escombros: menores, solucionables en días. - Daños sobre infraestructura vial: leves, reparables en días. - Exposición y daños de emisarios: leves. - Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas: leves reparables en días. - Accidentes de tránsito: menores sin suspensión del tránsito. - Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas: menor con reincorporación inmediata durante el día. 	<ul style="list-style-type: none"> - % de daño en construcciones costeras habitacionales y privados por impacto/ inundación/ socavación: 10%. - Daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación: moderados, reparables a corto plazo. - Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica: moderados y se requiere suministro para el 5% de los habitantes. - Problemas en el sistema de comunicaciones: moderados y requiere ser ajustado. - Problemas por recolección de aguas servidas y escombros: moderados, solucionables en una semana. - Daños sobre infraestructura vial: moderados, reparables a corto plazo. - Exposición y daños de emisarios: exposición leve y daños moderados. - Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas: moderados, reparables a corto plazo. - Accidentes de tránsito: moderados con interrupción leve del tránsito. - Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas: moderada con reincorporación en un par de días. 	<ul style="list-style-type: none"> - % de daño en construcciones costeras habitacionales y privados por impacto/ inundación/ socavación: 20%. - Daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación: serios, reparables a mediano plazo. - Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica: serios y se requiere suministro para el 10% de los habitantes. - Problemas en el sistema de comunicaciones: serios y requiere ser reemplazado. - Problemas por recolección de aguas servidas y escombros: serios, solucionables en un mes. - Daños sobre infraestructura vial: serios, reparables a mediano plazo. - Exposición y daños de emisarios: alta exposición y daños serios. - Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas: serios, reparables a mediano plazo. - Accidentes de tránsito: serios con interrupción y desvío del tránsito. - Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas: sería con reincorporación en semanas. 	<ul style="list-style-type: none"> - % de daño en construcciones costeras habitacionales y privados por impacto/ inundación/ socavación: 30%. - Daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación: severos, reparables a largo plazo. - Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica: severos y se requiere suministro para el 20% de los habitantes. - Problemas en el sistema de comunicaciones: severos y requiere ser sustituido. - Problemas por recolección de aguas servidas y escombros: severos, solucionables en más de un mes. - Daños sobre infraestructura vial: severos, reparables a largo plazo. - Exposición y daños de emisarios: completa exposición y daños severos. - Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas: severos, reparables a largo plazo. - Accidentes de tránsito: severos con suspensión del tránsito. - Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas: severa con reincorporación en al menos un mes.
IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL (ISA)	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales: 100% cubiertos. - Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo: inexistente. - Vías de evacuación: libres. - Pérdida del área de playa en planta a lo ancho: 0 m. - Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte: inexistente. - Disminución del turismo: no hay. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales: 70% cubiertos. - Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo: menor, afectando al 5% de los habitantes. - Vías de evacuación: con algunos escombros. - Pérdida del área de playa en planta a lo ancho: 2 m. - Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte: menor y recuperable en un par de días. - Disminución del turismo: baja, un 10%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales: 50% cubiertos. - Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo: moderada, afectando al 10% de los habitantes. - Vías de evacuación: moderadamente inundadas. - Pérdida del área de playa en planta a lo ancho: 1/3 de playa recuperable a corto plazo. - Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte: moderada y recuperable a corto plazo. - Disminución del turismo: moderada, un 20%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales: 60% deficientes. - Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo: seria, afectando al 20% de los habitantes. - Vías de evacuación: inundadas y con inicios de derrumbe. - Pérdida del área de playa en planta a lo ancho: la mitad de la playa recuperable a mediano plazo. - Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte: sería y recuperable a mediano plazo. - Disminución del turismo: sería, un 30%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales: 70% deficientes. - Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo: menor, afectando al 30% de los habitantes. - Vías de evacuación: totalmente inoperables por inundación/ socavación. - Pérdida del área de playa en planta a lo ancho: la playa entera recuperable a largo plazo. - Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte: severa y recuperable a largo plazo. - Disminución del turismo: severa, 40%.

4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO

La evaluación de impacto se realizó para dos escenarios de probabilidad de ocurrencia de la amenaza (P) de acuerdo al factor asignado a cada probabilidad (Tabla 4-3):

- 1) Escenario *A*: Impacto con factor de P igual a 2
- 2) Escenario *B*: Impacto con factor de P igual a 5

Ambos escenarios fueron evaluados según los criterios de la matriz de impacto y a los daños observados en eventos de oleaje extremo, que se describen más adelante. A cada categoría de impacto se le asignó un factor según se clasifica en la Tabla 4-4 tras examinar la severidad de los daños asociados a los eventos ocurridos en los años 2015 y 2016, y sobre la base de antecedentes históricos de este fenómeno. Se consideró además la exposición resultante del análisis de amenaza y la estructura de vulnerabilidades determinada. El impacto total I se estimó como el máximo entre las categorías (ver Tabla 5-4, Tabla 5-5 y Figura 5-14 en el capítulo 5).

4.5 EVALUACIÓN DE RIESGO

Habiendo calculado la cota de inundación (CI), y analizado el clima extremo para determinar P (probabilidad de ocurrencia de la amenaza), se procedió a elaborar una matriz de riesgo donde en sus filas se despliega el factor de P y en sus columnas, el factor de impacto total I .

A través de esta matriz, el riesgo se evaluó como el producto entre el factor P y el factor I , según se ha definido en la ecuación (3.1) y como se establece en la Tabla 4-6.

Tabla 4-6: Matriz de Riesgo

MATRIZ DE RIESGO		FACTOR DE I				
		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
FACTOR DE P		1	2	3	4	5
MUY PROBABLE	1	1	2	3	4	5
PROBABLE	2	2	4	6	8	10
MEDIO PROBABLE	3	3	6	9	12	15
POCO PROBABLE	4	4	8	12	16	20
MUY POCO PROBABLE	5	5	10	15	20	25

Esta operación se realizó para las probabilidades de ocurrencia de la amenaza con factor 2 y 5 correspondientes a los escenarios *A* y *B*, respectivamente. El resultado obtenido se clasifica según colores y niveles de riesgo de la Tabla 4-7.

Tabla 4-7: Escala de colores para la clasificación de riesgo. (Reyes, 2013)

CLASIFICACIÓN DE RIESGO	
BAJO - ACEPTABLE	$1 \leq R < 3$
BAJO - TOLERABLE	$3 \leq R < 5$
MEDIO - TOLERABLE	$5 \leq R < 10$
ALTO - INTOLERABLE	$10 \leq R < 15$
ALTO - INTOLERABLE	$15 \leq R \leq 25$

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de evaluación de riesgo ante la ocurrencia de eventos de oleaje extremo. Previamente a presentar los resultados de riesgo, se disponen los resultados de la amenaza y el impacto según se esquematiza en la Figura 4-1.

5.1 ANÁLISIS DE AMENAZA

Del análisis de amenaza se obtuvo la magnitud de la cota de inundación CI y su probabilidad de ocurrencia.

La cota de inundación se definió de acuerdo a la ecuación (3.10), donde las variables de Z_{MA} y Z_{MM} fueron calculadas a partir del análisis armónico y el Ru_2 , de la propagación de oleaje. Un resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 5-1 donde se dan a conocer el *runup* y la cota de inundación máximos dentro de las series temporales respectivas, para el caso conservador visto en el capítulo 4.1.6. Además se presenta la magnitud de la cota de inundación para la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P de los escenarios A y B definidos en el capítulo 4.4.

Tabla 5-1: Resumen de resultados, Análisis de Amenaza

Sitio Estudio	Serie temporal 20 años				Probabilidad de ocurrencia de la amenaza, P	
	Niveles de Marea		Caso Conservador		Escenario según P	CI m
	ZMA máx m	ZMM máx m	Ru_2 máx m	CI máx m		
4. Higuerrillas - La Boca	2.67	0.46	2.02	4.27	A	3.80
					B	4.25
3. Reñaca	2.67	0.46	1.91	4.30	A	3.80
					B	4.30
2. Av. Perú - Recta Las Salinas	2.67	0.46	2.39	4.54	A	4.20
					B	4.60
1. Caleta Abarca - Av. La Marina	2.67	0.46	1.78	4.01	A	3.60
					B	3.90

De la Tabla 5-1 se aprecia que los valores de $CI_{máx}$ en el caso conservador poseen una leve variación con los del escenario B para la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P . Esta variación hace referencia a la probabilidad del 5 % de excedencia de CI , vinculada al factor 5 de P (Tabla 4-3).

El detalle de los niveles de marea astronómica Z_{MA} , marea meteorológica Z_{MM} y *runup* Ru_2 se especifican gráficamente en series temporales en los capítulos de Wave Runup y Cota de Inundación del ANEXO N°2: OLEAJE.

Por otra parte, la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P se obtuvo a partir del análisis de clima extremo aplicado a la serie temporal de la cota de inundación. Estos resultados se presentan en el capítulo 5.2.

5.1.1 PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

Se presentan a continuación, de la Figura 5-1 a la Figura 5-6, dos ejemplos de dirección de oleaje de la propagación numérica para cada malla del modelo. Este corresponde a un modelo SWAN de mallas rectangulares estructuradas y su procedimiento fue previo a aplicar la metodología de Domínguez (2011) de transferencia espectral, a partir de la cual se calcula el *runup* (Ru_2) y la cota de inundación (CI). La escala de H_p es única para las seis figuras.

De la propagación se pueden inferir algunas aproximaciones respecto a la exposición del sistema según las alturas de ola en los sitios de estudio (H_p).

Para el caso de oleaje reinante desde los 225° (Figura 5-5), este se muestra más severo para los sitios de Higuera - La Boca y Reñaca. Sin embargo, Reñaca es el sitio más expuesto a esa dirección de oleaje. Le siguen Av. Perú - Recta Las Salinas y Caleta Abarca - Av. La Marina, siendo este último el sitio menos expuesto debido a que el oleaje se ve disminuido por la protección que brinda la península de Punta Ángeles.

En el caso de oleaje dominante desde los 315° (Figura 5-6), el sitio de estudio más expuesto es Higuera - La Boca. Le siguen Av. Perú - Recta Las Salinas, Reñaca y Caleta Abarca - Av. La Marina. Cabe observar que estos resultados son una aproximación de los obtenidos en el desarrollo de clima extremo, donde se analiza la cota de inundación y no la altura de ola H_p . Sin embargo, el *runup* como variable de CI , depende exclusivamente de H_p .

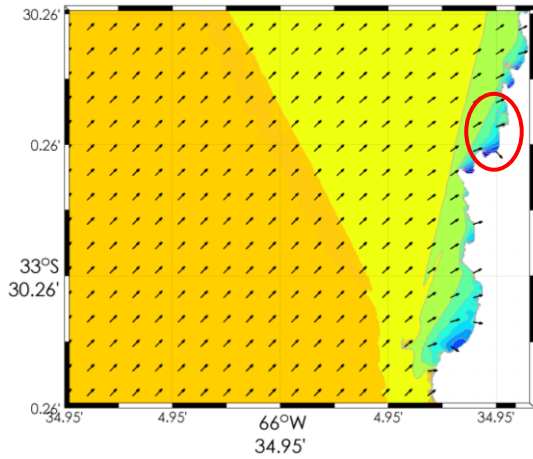


Figura 5-1: Malla Grande Hm0 12s 225°

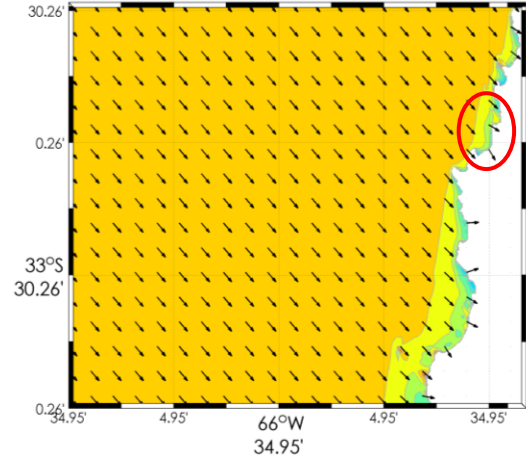


Figura 5-2: Malla Grande Hm0 12s 315°

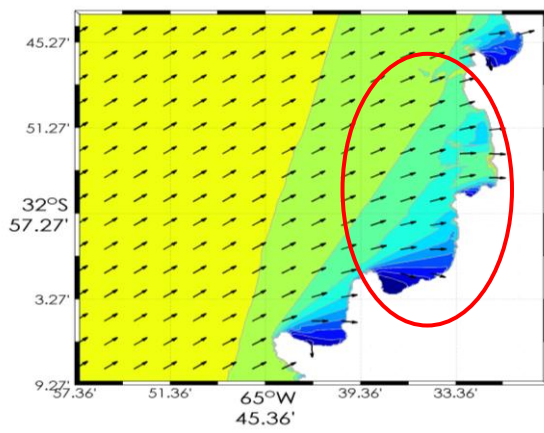


Figura 5-3: Malla Media Hm0 12s 225°

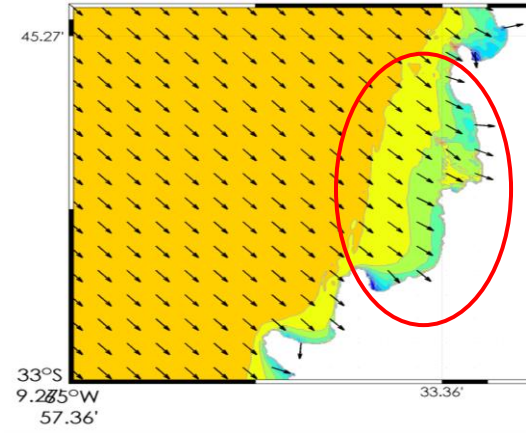


Figura 5-4: Malla Media Hm0 12s 315°

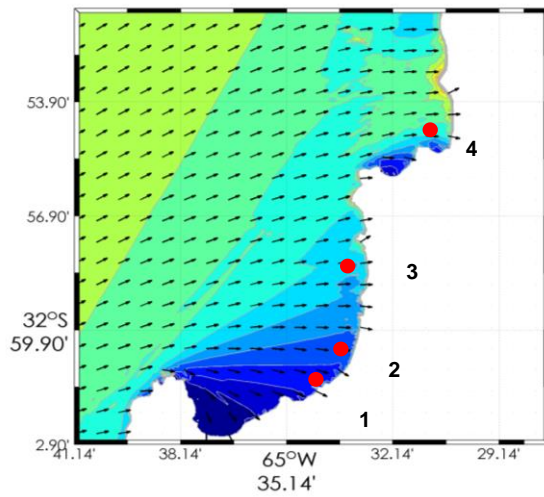


Figura 5-5: Malla Pequeña Hm0 12s 225°

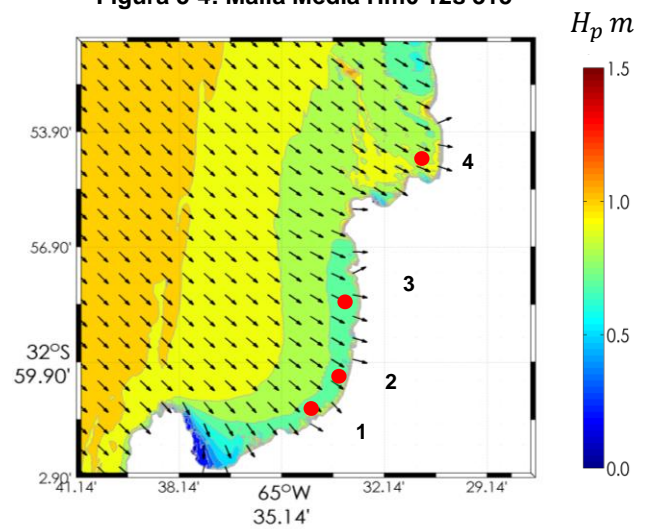


Figura 5-6: Malla Pequeña Hm0 12s 315°

5.2 EVALUACIÓN DE AMENAZA

5.2.1 CLIMA EXTREMO

Al estimar dos casos de *runup*, se obtuvieron dos resultados de series temporales de cotas de inundación. Ambas series se evaluaron en el análisis de clima extremo para especificar la diferencia entre ellas y establecer cuál de los dos casos (conservador o no conservador) se consideraría como resultado final de la amenaza.

Las gráficas de período de retorno T_r versus cota de inundación CI fueron las siguientes:

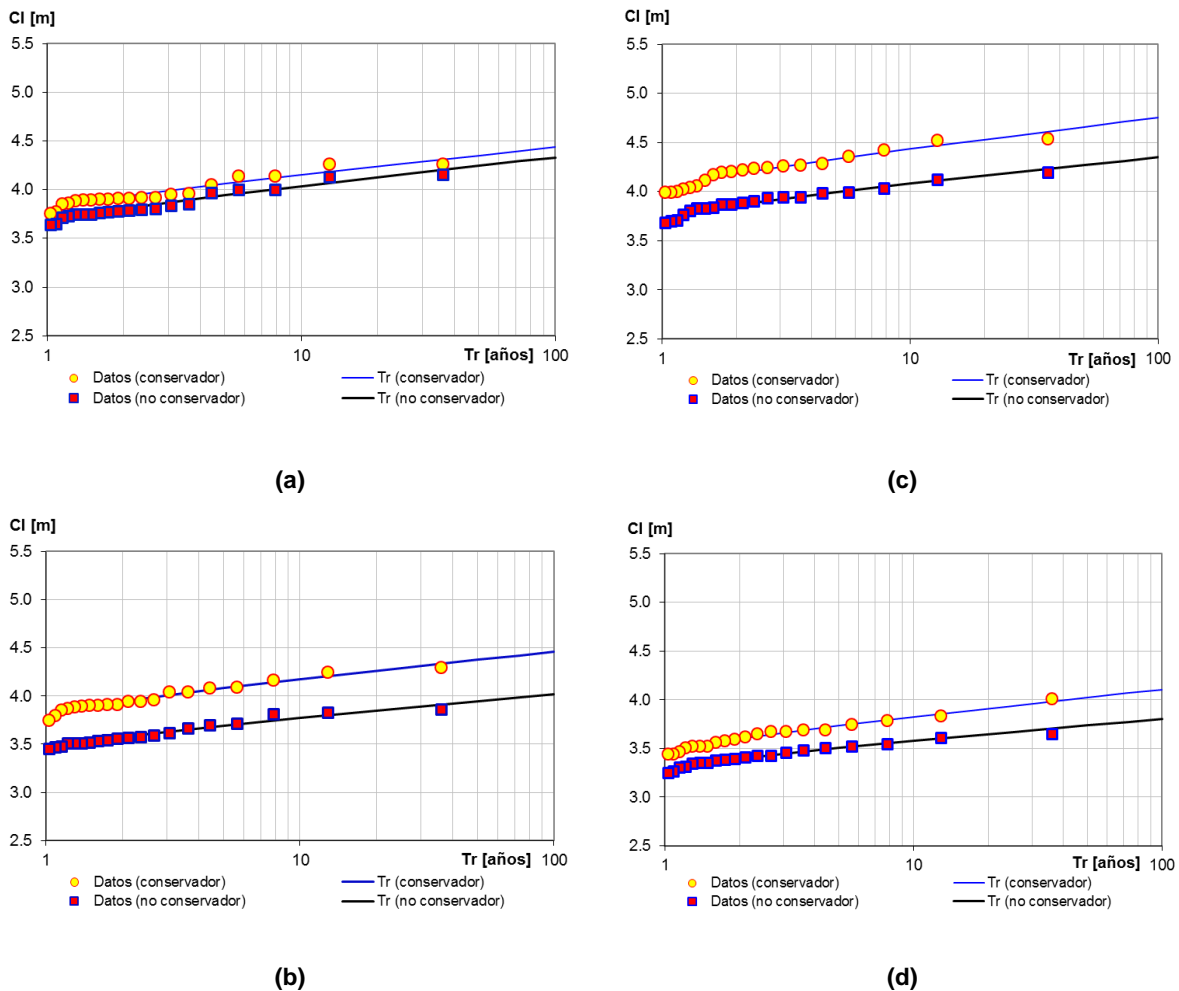


Figura 5-7: T_r v/s CI : (a) Higuerillas - La Boca, (b) Reñaca, (c) Av. Perú - Recta Las Salinas y (d) Caleta Abarca - Av. La Marina

En la Figura 5-7 se aprecia que la diferencia entre ambos casos es mínima en Higuierillas - La Boca. En Reñaca y Av. Perú - Recta Las Salinas la diferencia es mayor. Esto podría asociarse a la diferencia de pendiente, a la orientación geográfica y a la estructura del borde costero entre estos sitios. Los gráficos muestran una diferencia media de 20 cm en la cota de inundación entre ambos casos, por lo que resulta más cauto considerar las CI más altas, es decir, evaluar la amenaza relacionada al caso conservador.

En el gráfico de la Figura 5-8 se observan las mismas distribuciones de T_r y CI que en los gráficos anteriores, pero para todos los sitios de estudio en conjunto (4, 3, 2 y 1 de la Figura 1-1) y sólo para el caso conservador.

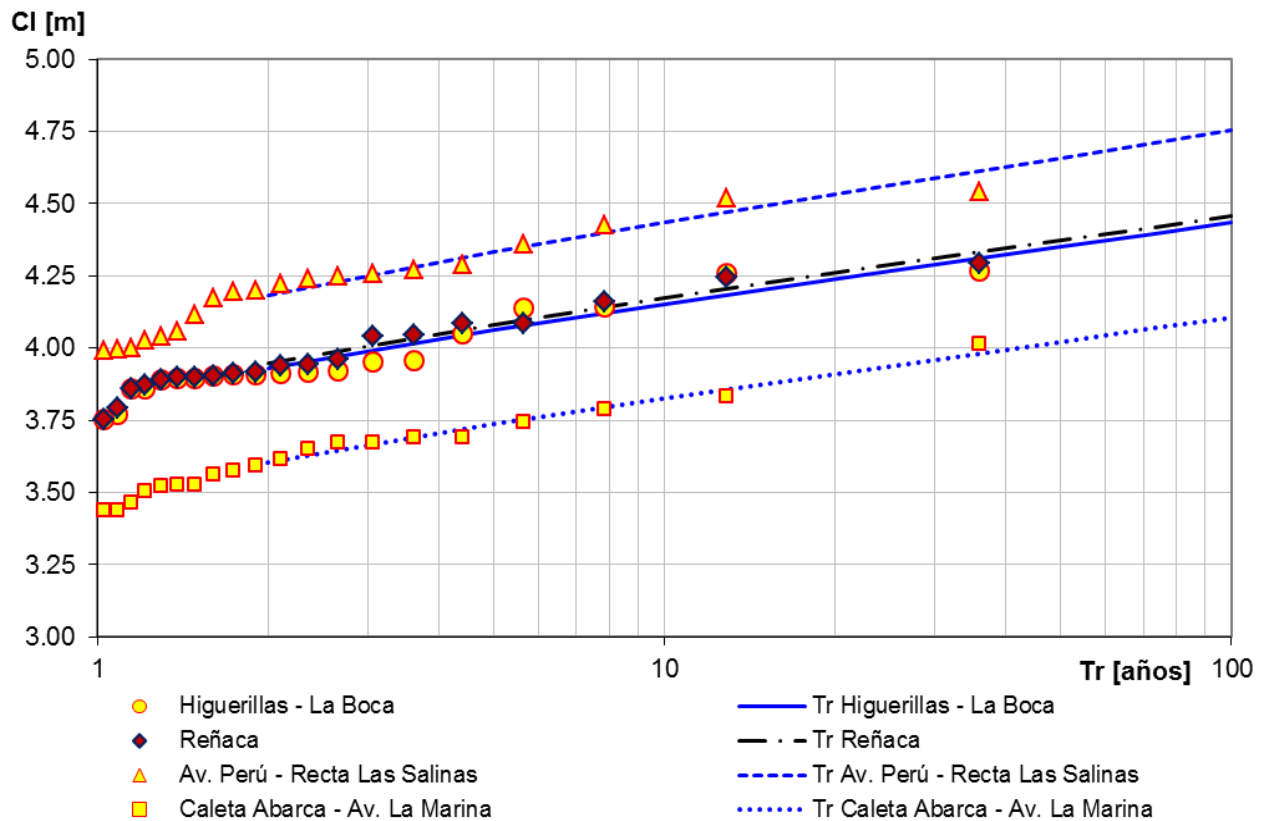


Figura 5-8: Período de retorno v/s cota de inundación (T_r v/s CI), caso conservador.

Elaboración propia.

De la Figura 5-8 se aprecia lo siguiente:

1. Las CI más severas se registraron para Av. Perú - Recta Las Salinas.
2. Las CI para Reñaca e Higuierillas - La Boca, fueron muy similares.
3. Las CI más bajas se registraron para Caleta Abarca - Av. La Marina.

4. Para un período de retorno de 100 años se presentaron aproximadamente las siguientes *CI*: una de 4.5 m en los sitios Higuierillas - La Boca y Reñaca; una de 4.8 m en Av. Perú - Recta Las Salinas y una de 4.2 m en Caleta Abarca - Av. La Marina.
5. La marea deja de ser influyente en la cota de inundación para períodos de retorno sobre 10 años.

Las curvas de probabilidad de excedencia de *CI* para el caso conservador, se exponen en la Figura 5-9. En ellas se grafica la probabilidad de que una *CI* sea sobrepasada.

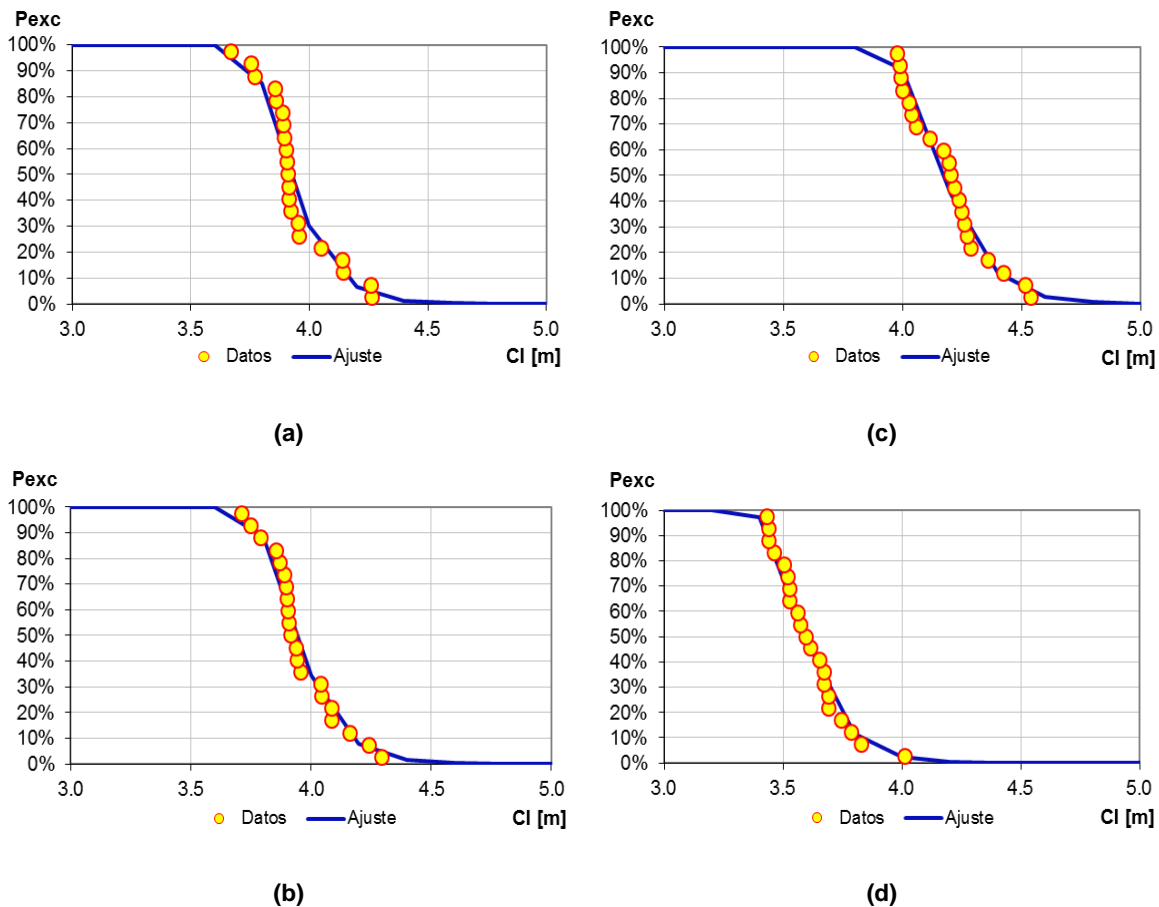


Figura 5-9: Curvas de probabilidad de excedencia de *CI*: (a) Higuierillas - La Boca, (b) Reñaca, (c) Av. Perú - Recta Las Salinas y (d) Caleta Abarca - Av. La Marina

Con la probabilidad de excedencia de *CI* se determinó la probabilidad de ocurrencia de la amenaza *P*, la cual se condiciona a una escala de factores de 1 a 5 determinada por la probabilidad y magnitud de *CI* como se especifica en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Magnitud de *CI* correspondiente a cada probabilidad y factor de *P*

	Probabilidad de ocurrencia de la Amenaza, <i>P</i>					Cota de Inundación <i>CI</i> m
	MUY PROBABLE	PROBABLE	MEDIO PROBABLE	POCO PROBABLE	MUY POCO PROBABLE	
Factor de <i>P</i>	1	2	3	4	5	
4. Higuerrillas - La Boca	3.75	3.80	3.90	4.10	4.25	
3. Reñaca	3.75	3.80	3.90	4.20	4.30	
2. Av. Perú - Recta Las Salinas	4.00	4.20	4.20	4.35	4.60	
1. Caleta Abarca - Av. La Marina	3.40	3.60	3.65	3.75	3.90	

La información contenida en la Tabla 5-2, es utilizada para posteriormente evaluar el impacto para los dos escenarios definidos en el capítulo 4.4. Estos escenarios corresponden a las condiciones PROBABLE (factor 2 de *P*) y MUY POCO PROBABLE (factor 5 de *P*) de la tabla.

5.3 ANÁLISIS DE IMPACTO

En este análisis se contempló el estudio de vulnerabilidades sintetizado en la Figura 4-5. Luego, en la matriz de impacto (Tabla 4-5) se dispusieron en las filas, las categorías y en las columnas, los factores de impacto con sus respectivos criterios asociados.

Los criterios de la matriz se definieron según los daños provocados por los eventos extremos de los últimos años y la exposición determinada en el análisis de amenaza. Los daños están asociados a las vulnerabilidades y se detallan en el capítulo Matriz de Impacto del ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO. Algunos ejemplos de los daños más severos se presentan en las figuras subsiguientes. Dentro de la matriz de impacto, la reparación de los daños obedece a la clasificación de la Tabla 5-3:

Tabla 5-3: Tiempo de reparación

TIEMPO DE REPARACIÓN DE LOS DAÑOS	
corto plazo	1 mes
mediano plazo	2 meses
largo plazo	3 meses y más

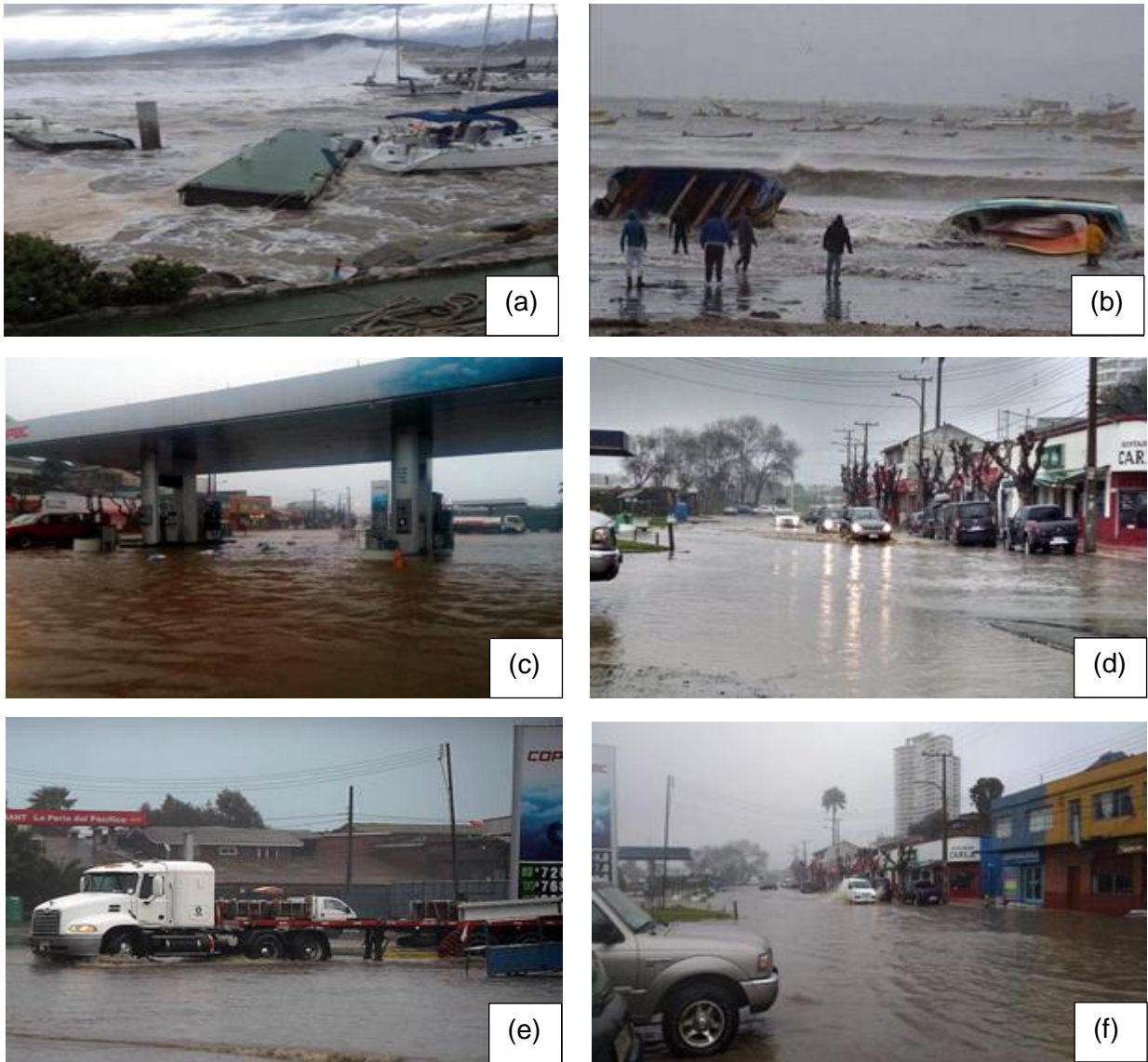


Figura 5-10: Ejemplos de daños en Higuierillas - La Boca, marejada Agosto de 2015. (a) Club de Yates Higuierillas, (b) Caleta artesanal de pescadores San Pedro, (c), (d), (e) y (f) Av. Borgoño al Sur de la rotonda Concón. (El Mercurio de Valparaíso, 2016)

En la Figura 5-10, Figura 5-11, Figura 5-12 y Figura 5-13 se ejemplifican algunos de los daños más severos para la marejada de 8 de Agosto de 2015.

Higuierillas - La Boca presentó daños de pérdida del área de playa, deriva de embarcaciones de los pescadores artesanales, inundaciones en pasos peatonales y en camino costero. Los daños más serios se observaron en el club de Yates Higuierillas.



Figura 5-11: Ejemplos de daños en Reñaca, marejada Agosto de 2015. (a) Av. Borgoño Sector 1, (b) Sector Sur playa Reñaca, (c) y (d) Zona entre sector 2 y sector 3, (e) Sector 2, (f) Vista de Sur a Norte playa Reñaca (Las Últimas Noticias, 2015)

En Reñaca los daños se relacionaron a pérdida del área de playa e inundaciones en paseo costero peatonal y vehicular, daños asociados a un factor de impacto menor en comparación con Av. Perú - Recta las Salinas (Tabla 5-5).



Figura 5-12: Ejemplos de daños en Av. Perú - Recta Las Salinas, marejada Agosto de 2015. (a) Av. Perú, (b) playa Acapulco, (c) playa Los Marineros, (d) playa Arenas Blancas (e) y (f) Recta Las Salinas (Las Últimas Noticias, 2015)

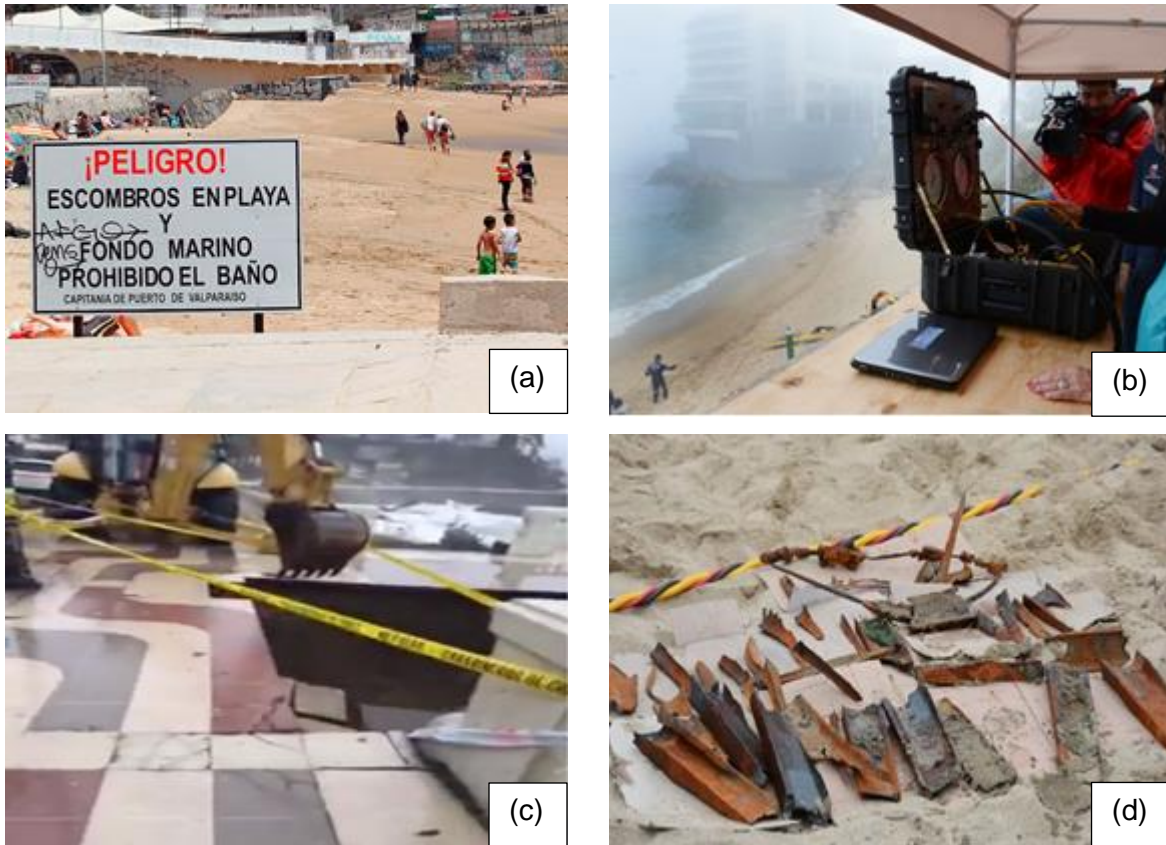


Figura 5-13: Ejemplos de daños en sector Caleta Abarca - Av. La Marina, marejada Agosto de 2015. (a) Playa Caleta Abarca, (b) Vista de la playa desde el nivel de la calle, (c) Socavación y caída de muro de contención, (d) Escombros en la playa. (Municipalidad de Viña del Mar, 2015)

Los daños más severos observados en Av. Perú - Recta Las Salinas (Figura 5-12) son la destrucción de locales, infraestructura de protección costera y paseos costeros peatonales de Av. Perú, Av. San Martín y Av. Jorge Montt a causa de la erosión de las playas y socavación en la zona.

Los daños observados en el sector costero correspondiente a Caleta Abarca - Av. La Marina (Figura 5-13) son la presencia de escombros de estructuras, pérdida del área de playa, socavación y caída de una parte del muro de contención en el sector del Castillo Wulff, siendo este último el más serio.

5.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO

En los resultados de esta evaluación se consideraron la magnitud de la cota de inundación y los criterios establecidos en la matriz de impacto para los escenarios *A* (Impacto con factor 2 de *P*) y *B* (Impacto con factor 5 de *P*).

El factor de impacto se asignó a cada categoría (víctimas humanas, impacto económico e impacto socio-ambiental) y el impacto total se obtuvo del máximo entre ellas. Los resultados de los escenarios *A* y *B* se muestran en la Tabla 5-4 y la Tabla 5-5 respectivamente, y se expone una gráfica radial del impacto total *I* en la Figura 5-14.

Tabla 5-4: Evaluación Impacto Escenario A

ESCENARIO A	FACTOR DE IMPACTO			
<i>Sitios de Estudio</i>	VÍCTIMAS HUMANAS	ECONÓMICO	SOCIO-AMBIENTAL	IMPACTO TOTAL I(A)
4. Higuerrillas - La Boca	1	1	2	2
3. Reñaca	1	1	3	3
2. Av. Perú - Recta Las Salinas	1	2	4	4
1. Caleta Abarca - Av. La Marina	1	2	2	2

En la Tabla 5-4 se observa que el sector de Av. Perú - Recta Las Salinas fue evaluado con factor 4 en la categoría socio-ambiental de impacto, porque fue el único sitio que para el escenario *A* superó los 4.0 m de cota de inundación (Tabla 5-2). Considerando que el nivel de terreno o cota topográfica promedio de edificación C_t respecto del *NMM* es de 4.2 m (Niveles de Terreno del ANEXO N°3: ANTECEDENTES), la cota 4.0 m resulta ser un límite inferior para la magnitud máxima de impacto.

Tabla 5-5: Evaluación Impacto Escenario B

ESCENARIO B	FACTOR DE IMPACTO			
<i>Sitios de Estudio</i>	VÍCTIMAS HUMANAS	ECONÓMICO	SOCIO-AMBIENTAL	IMPACTO TOTAL I(B)
4. Higuerrillas - La Boca	3	3	4	4
3. Reñaca	3	4	4	4
2. Av. Perú - Recta Las Salinas	3	5	5	5
1. Caleta Abarca - Av. La Marina	2	4	4	4

Según la Tabla 5-5, para $P = 5$ o escenario *B*, el único sitio de estudio que no superó los 4.0 m de cota de inundación fue Caleta Abarca - Av. La Marina (Tabla 5-2). A pesar de esto, los factores asignados a los criterios económico y socio-ambiental son de un impacto catalogado como SERIO debido a las inundaciones y a los daños potenciales por socavación en Av. La Marina (Figura 5-19).

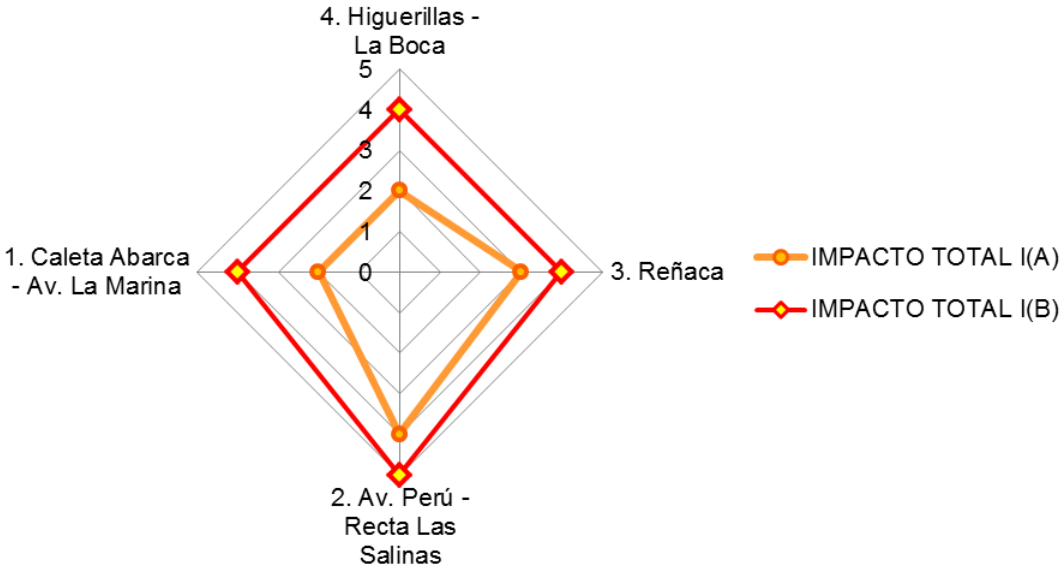


Figura 5-14: Gráfica radial de impacto

Los sitios de mayor impacto para ambos escenarios fueron Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca según la distribución de la Figura 5-14. En esta evaluación se consideran, además de la exposición por la propagación del oleaje, la extensión del sector costero comprendido en cada sitio y la ubicación geográfica de cada uno de ellos. De esta manera, el sector de Av. Perú - Recta Las Salinas fue el sitio de estudio evaluado con mayor impacto respecto a los otros, debido a que es la zona del borde costero que presenta:

- 1) mayor extensión, incluyendo una protección costera de roca y estructuras naturales de playa (Figura 1-1),
- 2) mayor cota de inundación para ambos escenarios de impacto (Tabla 5-2) y,
- 3) mayor exposición al oleaje proveniente del tercer y cuarto cuadrantes (Figura 5-5 y Figura 5-6).

En la Tabla 5-6 y la Tabla 5-7 se presenta la distribución de cada sitio de estudio en base a la matriz de impacto (Tabla 4-5) y a su evaluación respectiva para ambos escenarios (Tabla 5-4 y Tabla 5-5). Cada factor se justifica con los criterios cualitativos establecidos en la matriz de impacto para cada categoría.

Tabla 5-6: Resultados de Impacto, escenario A

IMPACTO POR CRITERIO	SEVERIDAD DEL IMPACTO				
	DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
	1	2	3	4	5
VÍCTIMAS HUMANAS (VH)	<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca ° Reñaca ° Av. Perú - Recta Las Salinas ° Caleta Abarca - Av. La Marina 				
IMPACTO ECONÓMICO (IE)	<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca ° Reñaca 	<ul style="list-style-type: none"> ° Av. Perú - Recta Las Salinas ° Caleta Abarca - Av. La Marina 			
IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL (ISA)		<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca ° Caleta Abarca - Av. La Marina 	<ul style="list-style-type: none"> ° Reñaca 	<ul style="list-style-type: none"> ° Av. Perú - Recta Las Salinas 	

Tabla 5-7: Resultados de Impacto, escenario B

IMPACTO POR CRITERIO	SEVERIDAD DEL IMPACTO				
	DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
	1	2	3	4	5
VÍCTIMAS HUMANAS (VH)		<ul style="list-style-type: none"> ° Caleta Abarca - Av. La Marina 	<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca ° Reñaca ° Av. Perú - Recta Las Salinas 		
IMPACTO ECONÓMICO (IE)			<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca 	<ul style="list-style-type: none"> ° Reñaca ° Caleta Abarca - Av. La Marina 	<ul style="list-style-type: none"> ° Av. Perú - Recta Las Salinas
IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL (ISA)				<ul style="list-style-type: none"> ° Higerillas - La Boca ° Reñaca ° Caleta Abarca - Av. La Marina 	<ul style="list-style-type: none"> ° Av. Perú - Recta Las Salinas

5.5 EVALUACIÓN DE RIESGO

Los resultados de la evaluación de riesgo se presentan en la Tabla 5-8 y su distribución radial en la Figura 5-15 para los dos escenarios de impacto. Los factores obtenidos se clasifican según los niveles y colores de riesgo establecidos en la Tabla 4-7.

Tabla 5-8: Riesgo para escenarios de Impacto A y B

RIESGO	EVALUACIÓN DE RIESGO P x I						
	Sitios de Estudio	Factor de P (A)	IMPACTO (A)	RIESGO (A)	Factor de P (B)	IMPACTO (B)	RIESGO (B)
4. Higuerrillas - La Boca	2	2	2	4	5	4	20
3. Reñaca			3	6		4	20
2. Av. Perú - Recta Las Salinas			4	8		5	25
1. Caleta Abarca - Av. La Marina			2	4		4	20

En la Figura 5-15 se infiere que el riesgo del escenario *B*, catalogado como CRÍTICO para todos los sitios de estudio, es 4 a 5 veces mayor que el riesgo del escenario *A*.

El resumen de los resultados se expone en la Tabla 5-9 donde se desprende lo siguiente:

- Para el escenario *A* (evaluación de impacto con factor 2 de *P*), el riesgo de Higuerrillas - La Boca y Caleta Abarca Av. - La Marina es catalogado como BAJO-TOLERABLE según su factor y clasificación de la Tabla 4-7. Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca poseen un riesgo MEDIO-TOLERABLE.
- Para el escenario *B* (evaluación de impacto con factor 5 de *P*), todos los sitios de estudio fueron catalogados como zonas de riesgo CRÍTICO, sin embargo, Caleta Abarca se consideró el menos CRÍTICO (Figura 5-15) entre todos debido a que:
 - 1) La magnitud de su cota de inundación es la menor para ambos escenarios (Tabla 5-2).

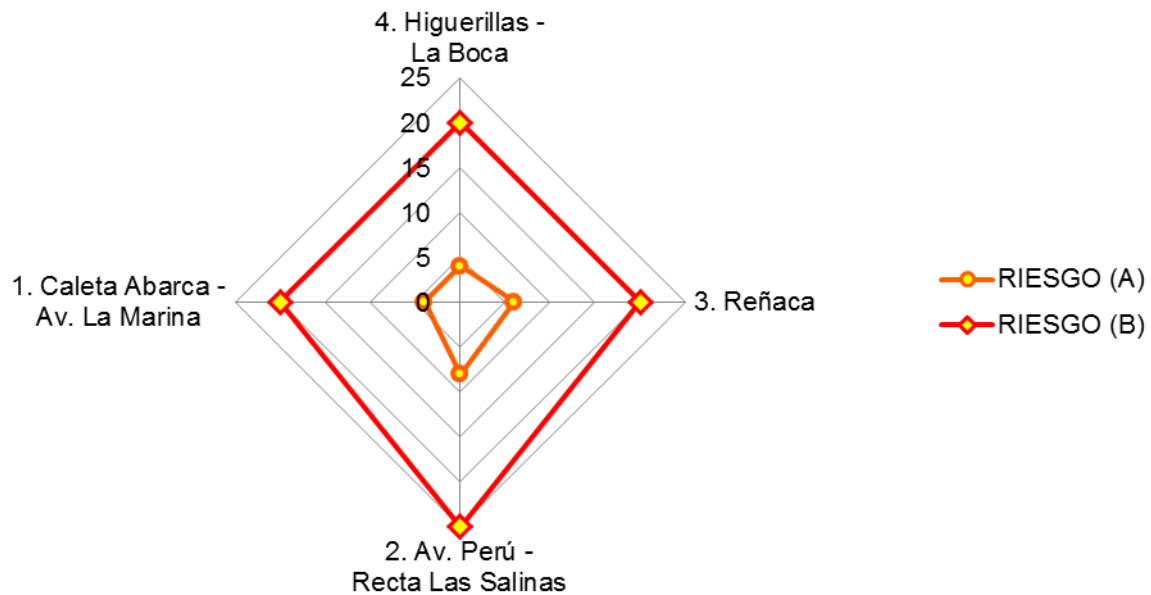


Figura 5-15: Gráfica radial de riesgo

- 2) La pendiente del sector de Higuierillas - La Boca es menor y posee los valores de batimetría más bajos. Esto influye en el fenómeno de asomeramiento del oleaje, ya que la ola percibe el fondo más hacia mar adentro que una playa de mayor pendiente, generando una rotura tipo *spilling*, con un *runup* y una cota de inundación de mayor extensión penetrando en la zona urbana con facilidad.
- 3) Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca son balnearios más abiertos (más expuestos al oleaje) y de mayor extensión, por lo que el oleaje llega a la costa de forma más directa y con mayor energía desde el tercer y cuarto cuadrantes. Si bien Higuierillas - La Boca es un balneario altamente expuesto para el oleaje del cuarto cuadrante se encuentra protegido por la Punta Concón Higuierillas para el oleaje proveniente del tercer cuadrante.
- 4) El nivel de la calle junto al sitio de Caleta Abarca - Av. La Marina es el que se encuentra a mayor altura desde el *NMM* (SHOA, 2012).

Tabla 5-9: Resumen de resultados

Sitio Estudio	Iribarren ξ	Pendiente media $\tan\beta$ m	Serie temporal 20 años						Probabilidad de ocurrencia de la amenaza, P		IMPACTO		RIESGO	
			Niveles de Marea		Caso Conservador		Caso no Conservador		Escenario según P	CI m	cualitativo	factor	cualitativo	nivel
			ZMA máx m	ZMM máx m	Ru2 máx m	CI máx m	Ru2 máx m	CI máx m						
4. Higuierillas - La Boca	0.29	0.022	2.67	0.46	2.02	4.27	1.87	4.13	A	3.80	MENOR	2	BAJO- TOLERABLE	4
									B	4.25	SERIO	4	CRÍTICO	20
3. Reñaca	0.58	0.037	2.67	0.46	1.91	4.30	1.64	4.07	A	3.80	MODERADO	3	MEDIO- TOLERABLE	6
									B	4.30	SERIO	4	CRÍTICO	20
2. Av. Perú - Recta Las Salinas	1.00	0.055	2.67	0.46	2.39	4.54	1.91	4.20	A	4.20	SERIO	4	MEDIO- TOLERABLE	8
									B	4.60	SEVERO	5	CRÍTICO	25
1. Caleta Abarca - Av. La Marina	0.65	0.033	2.67	0.46	1.78	4.01	1.48	3.66	A	3.60	MENOR	2	BAJO- TOLETABLE	4
									B	3.90	SERIO	4	CRÍTICO	20

Los valores de $CI_{máx}$ y $CI_{mín}$ corresponden a las magnitudes de la cota de inundación máxima y mínima de la serie temporal de 20 años. Las $CI_{máx}$ se relacionan con la probabilidad de ocurrencia de la amenaza P y por ende con las evaluaciones de impacto y riesgo. Además se distingue que:

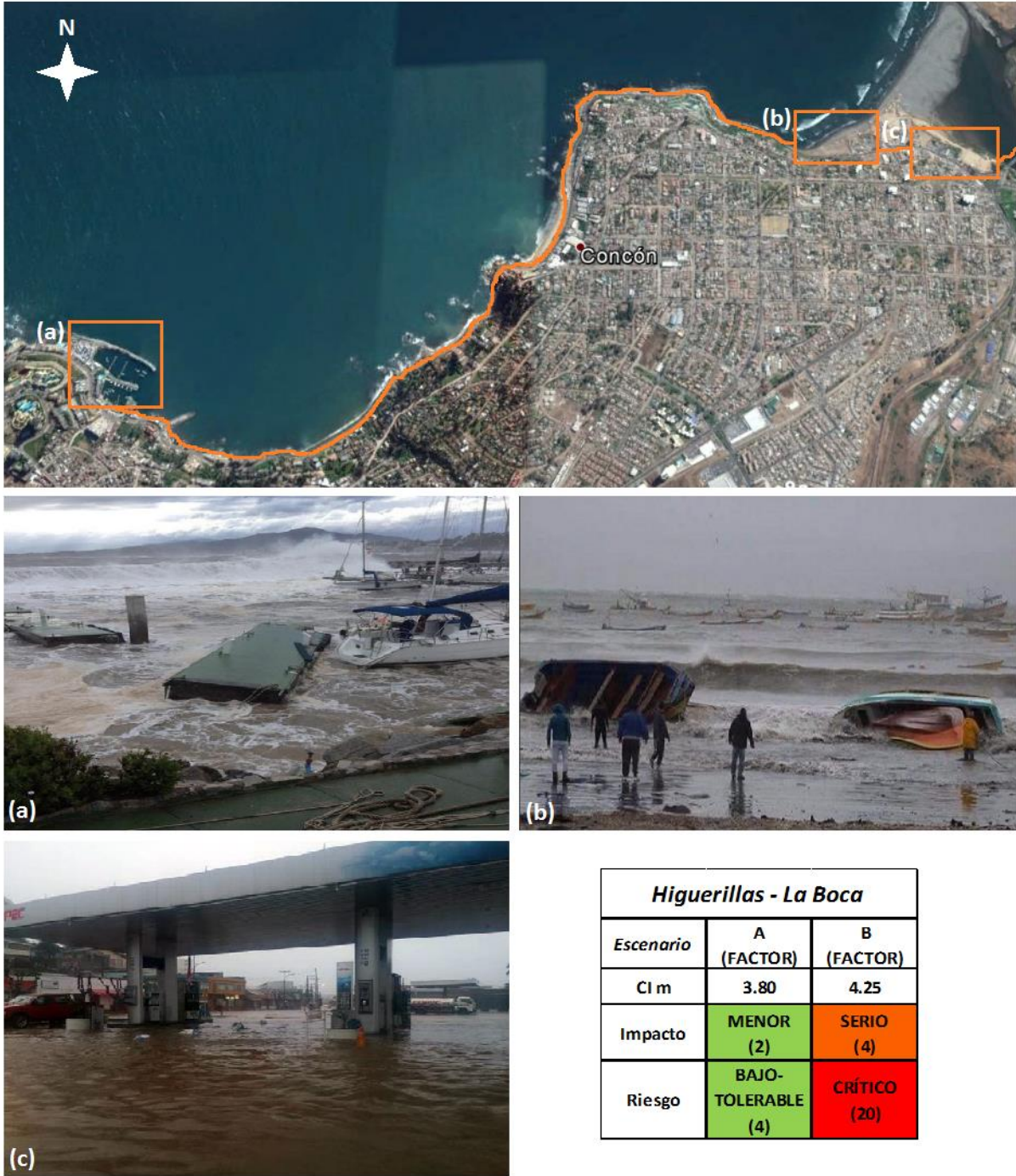
- 1) Si bien todos los sitios presentan un riesgo CRÍTICO para el escenario B , las condiciones más rigurosas están en el sector Av. Perú - Recta Las Salinas, ya que su impacto es catalogado como SEVERO debido a la cota de inundación calculada y a los daños que se han producido en eventos históricos.
- 2) La pendiente media, $\tan\beta$ es directamente proporcional al número de Iribarren, ξ , que forma parte de la formulación de $runup Ru_2$. Por ende, la pendiente media podría asociarse a la cota de inundación en proporcionalidad directa como sucede con los sitios de Caleta Abarca - Av. La Marina, Av. Perú - Recta Las Salinas y Reñaca (Tabla 5-9). De este modo, el sector Higuierillas - La Boca debiera presentar la menor cota de inundación, sin embargo, posee una CI mayor a Caleta Abarca - Av. La Marina, porque geográficamente se expone a un oleaje más directo y con mayor energía (Figura 5-5, Figura 5-6).

En síntesis se puede decir que:

- 1) Los sitios de mayor y menor riesgo se asocian a las cotas de inundación más altas y más bajas para Av. Perú - Recta Las Salinas y Caleta Abarca - Av. La Marina, respectivamente (ver Tabla 5-9).

- 2) El sitio de mayor riesgo fue Av. Perú - Recta Las Salinas catalogado como MEDIO-TOLERABLE con un factor 8 y CRÍTICO con un factor 25 para los escenarios *A* y *B*, respectivamente. El sector costero asociado a este sitio de estudio califica con los daños más severos debido a sus particulares características estructurales, además de ser el de mayor extensión y exposición para la convergencia del oleaje proveniente de todas direcciones, debido a su orientación geográfica.
- 3) Los sitios de menor riesgo fueron Higuierillas - La Boca y Caleta Abarca - Av. La Marina, ambos catalogados como BAJO-TOLERABLE con un factor 4 y CRÍTICO con un factor 20 para los escenarios *A* y *B*, respectivamente. La evaluación en común se diferencia en que Higuierillas - La Boca presentó una mayor cota de inundación debido a su alta exposición del oleaje proveniente del tercer y cuarto cuadrantes. En cambio, en el sector de Caleta Abarca - Av. La Marina a pesar de presentarse una cota de inundación más baja, se produjeron daños más serios.

En Figura 5-16, Figura 5-17, Figura 5-18 y Figura 5-19 se representan los resultados en mapas ilustrativos donde se aprecian las cotas de inundación calculadas, la evaluación de impacto, la evaluación de riesgo y los sectores más vulnerables de cada sitio de estudio.



Higuerillas - La Boca		
<i>Escenario</i>	A (FACTOR)	B (FACTOR)
Cl m	3.80	4.25
Impacto	MENOR (2)	SERIO (4)
Riesgo	BAJO-TOLERABLE (4)	CRÍTICO (20)

Figura 5-16: Daños e inundaciones en sitio 4 Higuerillas - La Boca. (a) Club de Yates Higuerillas, (b) playa La Boca, (c) Estación bencinera rotonda Concón. Elaboración propia, Google Earth

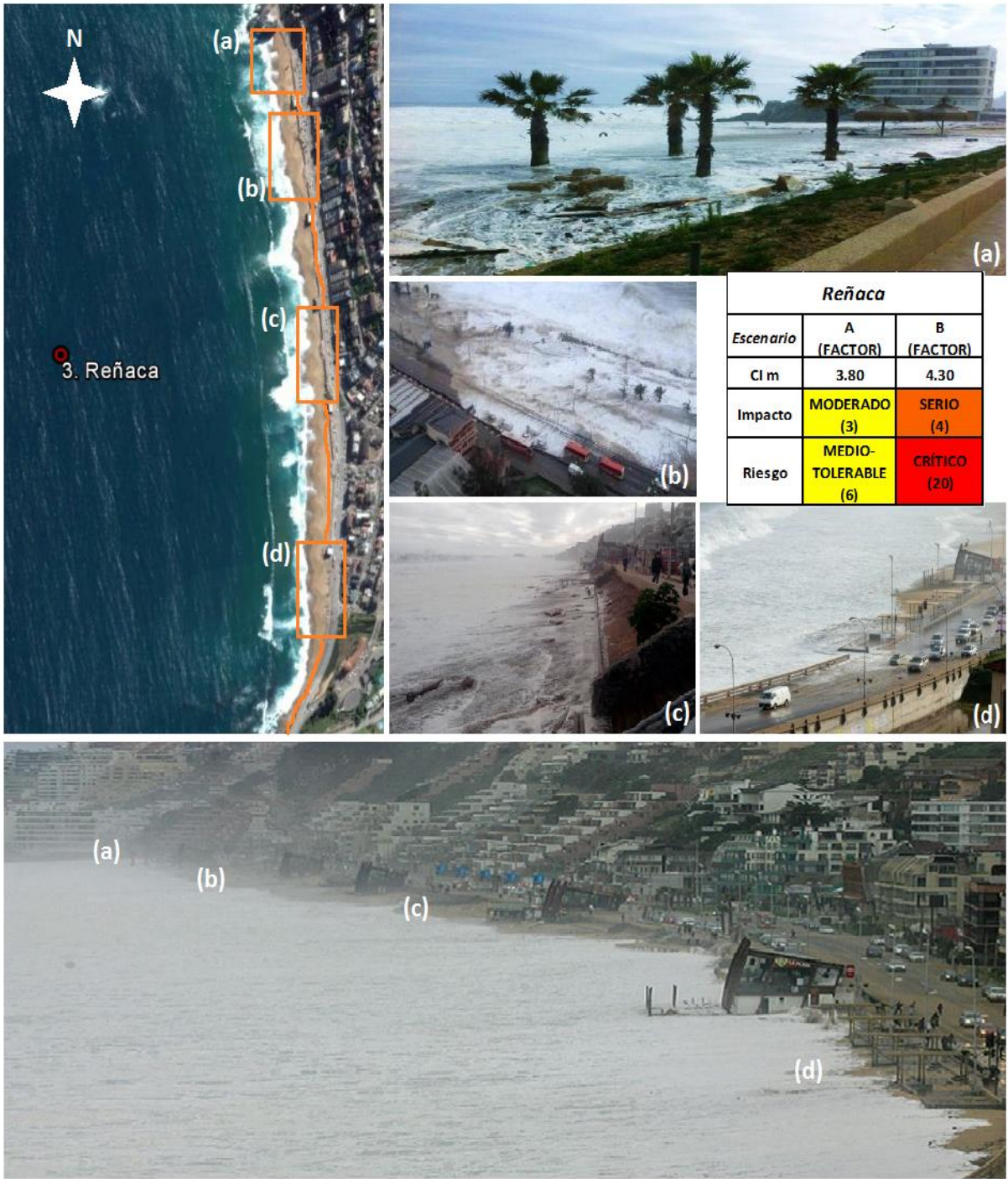


Figura 5-17: Daños e inundaciones en Sitio 3 Reñaca. Elaboración propia, Google Earth



Figura 5-18: Daños en sitio 2 Av. Perú - Recta Las Salinas. (a) playa Arenas Blancas, Av. Jorge Montt, (b) playa Los Marineros, Av. San Martín, (c.1) playa Acapulco vista Sur, (c.2) playa Acapulco vista Norte, (d) Av. Perú Norte, (e.1) y (e.2) Av. Perú. Elaboración propia, Google Earth



Figura 5-19: Daños en sitio 1 Caleta Abarca - Av. La Marina. (a) Desaparición barrera estero Margarita, (b) Castillo Wulff, (c.1) y (c.2) Socavación paseo costero Av. La Marina Castillo Wolff, (d) Inundación Sheraton, (e) playa Abarca. Elaboración propia, Google Earth

6. CONCLUSIONES

El método utilizado para determinar la cota de inundación, arrojó valores por sobre los 4.0 m en Av. Perú - Recta Las Salinas para todas las probabilidades de P . Los otros sitios, superaron los 4.0 m para los factores 4 y 5 de P con excepción de Caleta Abarca - Av. La Marina, que estuvo por debajo de los 4.0 m para las cinco probabilidades de P analizadas (Tabla 5-2).

En consecuencia, la evaluación del riesgo, al ser el producto entre los factores de la probabilidad de ocurrencia de la amenaza y el impacto, está directamente relacionada con la magnitud de la cota de inundación, puesto que a raíz de ella se determina la exposición del sistema. Por lo tanto, Av. Perú - Recta Las Salinas es el sitio con mayor nivel de riesgo CRÍTICO para el peor escenario (factor 5 de P), diferenciándose del riesgo de los otros sitios, por el nivel de impacto atribuido en base a las vulnerabilidades y a los daños (Figura 5-12 y Figura 5-18). Así, el riesgo está sujeto al sector señalado como el más expuesto.

Conforme al trabajo desarrollado se puede concluir, la necesidad de contar con mayor detalle en la caracterización de la amenaza local. Ello con el fin de estimar con precisión las zonas expuestas, con particular énfasis en la orientación geográfica del borde costero respecto a la dirección de incidencia del oleaje. En segundo término, la consideración y análisis del impacto, como parte de un sistema estructurado sobre una lógica de causa-efecto, posibilita la comprensión, análisis y control de las vulnerabilidades del sistema urbano en sus diversas componentes. El propósito final es disminuir el riesgo, ya sea a través de la reducción de la amenaza, con protecciones costeras por ejemplo, o interviniendo las vulnerabilidades del sistema. Tales criterios debieran ser considerados en la discusión de la planificación urbana en la zona costera, por su importancia y las inevitables condiciones de exposición del territorio.

En términos más específicos, se pueden observar las siguientes conclusiones:

1. De la base estadística de veinticuatro años se analizaron sólo veinte (1993-2013), debido a que el año 1991 estaba incompleto. No obstante, cuanto mayor sea la extensión de la estadística y mejor la calidad de los datos para el estudio de oleaje, incluyendo una rigurosa topo-batimetría, la precisión de las estimaciones de altura de ola, *runup* y cota de inundación debiera ser mayor. Por lo tanto,

debiera así reducirse la incertidumbre en la evaluación de la amenaza tanto respecto a su probabilidad de ocurrencia como de la magnitud asociada.

2. La propagación de espectros unitarios hasta los 18 m de profundidad, permite obtener una primera estimación del comportamiento del oleaje para el cálculo de la cota de inundación. En términos concretos, se observa que los sitios de mayor exposición para oleaje proveniente del cuarto cuadrante son Higuierillas - La Boca y Av. Perú - Recta Las Salinas, debido a su orientación respecto a la dirección de incidencia. Así, Av. Perú Recta - Las Salinas es el sitio más expuesto de acuerdo a la magnitud de la cota de inundación. Difiere de Higuierillas - La Boca por su orientación geográfica y la pendiente de la playa.

En cambio, para el oleaje proveniente del SW, el sitio de estudio más expuesto es Reñaca, presentándose las mayores alturas de ola H_p (Figura 5-5) debido a que su orientación es casi paralela al frente de oleaje. Así, el tramo de Reñaca es el segundo sitio de estudio más expuesto de acuerdo a la altura de ola a 18 m de profundidad.

3. El cálculo de la cota de inundación instantánea podría estar subestimado, ya que contempla un *runup* a los 18 m de profundidad sin considerar la altura de ola antes de la rompiente. Por otro lado, para calcular el *runup* Ru_2 se utilizó la altura significativa resultante de la propagación espectral a los 18 m de profundidad denominada H_p , no siendo necesariamente representativa de la peor condición de clima de oleaje.
4. Para períodos de retorno mayores a 10 años la marea dejaría de ser una variable influyente en la determinación de la cota de inundación (Figura 5-8).
5. Como parámetro de medición, se advierte considerar la cota topográfica promedio de edificación respecto del *NMM*, para establecer el límite inferior de la cota de inundación y la magnitud máxima de impacto.
6. A pesar de las limitaciones respecto a obtener una cota de inundación a los 18 m de profundidad, el análisis de impacto desarrollado en este trabajo es consistente, puesto que comparte resultados similares a lo observado en el temporal del 8 de Agosto (Winckler et al., 2015) aun cuando se utilizan diferentes metodologías para alcanzar los resultados.

7. Si bien la metodología propuesta en este trabajo es aplicable para investigar otros contextos geográficos, la evaluación se realizó exclusivamente para los sectores de estudio descritos. Por esta razón, se recomienda actualizar la matriz de impacto con antecedentes y criterios de acuerdo a las características locales del sector de estudio.
8. En futuras investigaciones, se recomienda estudiar a la población a través de encuestas ciudadanas por ejemplo, que evalúen la percepción que tiene cada individuo como turista, comerciante, habitante, niño, adulto, con y sin conocimiento en el tema marítimo, etc. al exponerse a la ocurrencia de eventos de oleaje extremo. A raíz del análisis de percepción de la población y del análisis de amenaza e impacto propuestos en esta investigación, se sugiere consolidar una base de datos nacional de impacto por marejada.

En síntesis, las condiciones locales del sector de estudio, entre ellas la topo-batimetría, la orientación geográfica respecto de la dirección del oleaje y la configuración estructural del borde costero, son elementos centrales en el cálculo de la cota de inundación *CI*. Sin embargo, existen incertezas asociadas a tales aspectos que deben ser gradualmente disminuidas para determinar con mayor precisión la magnitud teórica de la amenaza y, por consiguiente, el grado de exposición del sistema bajo análisis. En efecto, el nivel de impacto depende tanto de las vulnerabilidades del sistema y de su nivel de exposición a la amenaza, siendo entonces el control de vulnerabilidades la vía más segura para reducir el nivel de riesgo determinado en este estudio.

La metodología y resultados presentados en este estudio constituyen información relevante para incorporar en los procesos de toma de decisiones urbanas en el borde costero, en especial para su planificación.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Bonilla. (2012). *Efectos de la movilidad del transporte motorizado en el espacio urbano*. Viña del Mar.
- CEM. (2003). Breaker type. En *Surf zone hydrodynamics* (págs. II-4-1).
- CEM. (2003). Storm surge. En *Water levels and long waves* (págs. II-5-38).
- CEM. (2003). Wave runup on beaches. En *Surf zone hydrodinamics* (págs. II-4-14).
- CIIFEN. (2015). Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño. *Evolución y perspectiva*.
- Diariouno. (26 de Enero de 2016). Las marejadas en Chile ya dejaron una muerte, rescates y daños. *Uno*.
- DIRECTEMAR. (2015). *Bases de postulación a permisos temporales*. Capitanía de Puerto Lago Villarrica, Gobernación Marítima de Valdivia. Valparaíso: Armada de Chile.
- DIRECTEMAR. (2016). *Tsunami y las medidas de seguridad en el mar*. Recuperado el Marzo de 2016, de Emergencias marítimas 137: http://www.137.cl/descargas/expo_escolares.pdf
- Domínguez, J. C. (2011). Analysis of spectral wave energy transfer methodologies from deep to shallow water. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica.
- El Mercurio de Valparaíso. (31 de Enero de 2016). Duro impacto económico de marejadas en la costa.
- GEER. (2010). *Geo-engineering Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake*. Jonathan Bray and David Frost.
- GIOC. (1998). *Documento complementario: Metodología e información utilizada en la elaboración del documento temático de cota de inundación*. Santander: Universidad de Cantabria.
- GIOC. (1998). *Documento temático de Cota de inundación: Atlas de inundación en el litoral peninsular español*. Santander: Universidad de Cantabria.
- GIOC. (2000). Hidrodinámica en la zona de rompientes. En *Documento de referencia*. Santander: Universidad de Cantabria.
- GIOC. (2000). Procesos litorales. En *Documento de referencia*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Goda. (2000). *Statistical analysis of extreme waves*.

- IH. (2012). *Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América latina y el Caribe*. Santander: Universidad de Cantabria.
- INE. (2002). *Censo Población y Viviendas SECPLAM*. Viña del Mar.
- La Gran Época. (Viernes 5 de Julio de 2013). <http://www.lagranepoca.com/archivo/28666-cierran-puertos-chile-intensas-marejadas-millonarios-danos-costa.html>. Recuperado el 2016
- Las Últimas Noticias. (20 de Diciembre de 2015). Así se movieron las 44 marejadas que nos golpearon el 2015.
- MINVU. (2013). *Norma Técnica NTM 007*.
- Mundo Noticias. (31 de Diciembre de 2015). Las tres razones por las que la NASA cree que el Niño será tan "poderoso" como el peor de la historia.
- NCEP. (2017). *ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions*.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Viña del Mar. (2002). Decreto 10949. Viña del Mar.
- Ortlieb, L. (1994). Las mayores precipitaciones históricas en Chile central y la cronología de eventos ENOS en los siglos XVI-XIX. *Revista chilena de historia natural*.
- PCM. (2010). *Project Cycle Management*. IC Net Limited.
- Reyes, M. (2013). A proposal of tsunami risk assessment method for Iquique City, Chile. *Evaluation criteria for impact*.
- ROM 0.2-90. (1990). *Acciones en el proyecto de obras marítimas y portuarias*, Tabla 3.2.3.1.2. Madrid, España: Dirección general de puertos y costas.
- ROM 0.5-94. (1994). *Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias*. Madrid, España: Dirección general de puertos y costas.
- Sea Level Station Monitoring Facility. (s.f.). <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org>. Recuperado el 2016
- SERNAGEOMIN. (Febrero de 2008). *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Obtenido de sernageomin: <http://www.sernageomin.cl/pdf/material/MANUALDEEVALUACIONRIESGOSFMAP.pdf>
- SERNATUR. (Marzo de 2014). www.sernatur.cl. Recuperado el 2016
- SHOA. (1999). Publicación 3202. *Instrucciones oceanográficas N°2*. Valparaíso: 2da Edición. Armada de Chile.
- SHOA. (2012). Carta de inundación por tsunami Concón-Ritoque. Valparaíso, Chile.

- SHOA. (2012). Carta de inundación por tsunami Valparaíso-Viña del Mar. Valparaíso, Chile.
- SHOA. (2012). Publicación 3009. *Tablas de Marea de la costa de Chile 2013*. Valparaíso: Armada de Chile.
- Stockdon, H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash and runup. *Elsevier*.
- Winckler, P. (2015). *Modelos hidrodinámicos en el medio marítimo*.
- Winckler, P., Contreras, M., Beyá, J., & Molina, M. (2015). *El temporal del 8 de Agosto de 2015 en la bahía de Valparaíso*. Valparaíso.

8. ANEXOS

8.1 ANEXO N°1: ANÁLISIS DE IMPACTO

Al presentarse acontecimientos inusuales de la naturaleza como los eventos de oleaje extremo, el sistema urbano costero se ve amenazado y queda expuesto a daños que califican dentro de lo que se considera como impacto. El análisis de impacto se desarrolla a partir de un estudio de vulnerabilidades y de la exposición que a su vez se determina con la magnitud de la amenaza. El estudio de vulnerabilidades se examina con un método basado en PCM (2010) donde se identifican los actores, las causas y las consecuencias, además de elaborar un análisis FODA de los principales problemas.

8.1.1 PCM, PROJECT CYCLE MANAGEMENT

La gestión cíclica de un proyecto o *Project Cycle Management* (PCM, 2010) considera una identificación de actores, causas, consecuencias, además de un análisis de fortalezas, oportunidades, desventajas y amenazas (FODA) de lo descrito.

8.1.1.1 Análisis de Actores

El análisis de actores se basa en PCM (2010) y considera las siguientes tareas:

1. Nombrar a los actores involucrados y afectados por la amenaza de un evento de oleaje extremo.
2. Agrupar a los actores según Tabla 8-2.
3. Seleccionar a los actores más afectados.
4. Identificar y describir los problemas de la selección del punto 3.
5. Reconocer las causas y efectos de los problemas identificados.
6. Realizar un análisis FODA³ según el punto 4.

Este análisis se desarrolló para conocer cómo se desencadenarían las acciones de gestión de riesgo con el fin de optimizar los procesos y mejorar las capacidades técnicas

³ La metodología de la sigla FODA, se basa en un estudio de Fortalezas o factores críticos positivos con los que se cuenta; Oportunidades, donde se destacan aspectos positivos que pueden aprovecharse utilizando las fortalezas; Debilidades o factores críticos negativos que se deben eliminar o reducir y; Amenazas o aspectos negativos externos que podrían obstaculizar el logro de objetivos.

ante la ocurrencia de eventos de oleaje extremo, ya que la falta de preparación de los actores y desconocimiento del sistema de vulnerabilidades pueden retrasar el proceso de toma de decisiones y/o acciones (Reyes, 2013).

El análisis de actores análisis se vincula a lo expuesto en el capítulo 8.1.1.1 y se centra en la solución general del problema; disminuir el riesgo ante la probabilidad de ocurrencia de eventos de oleaje extremo caracterizados por la cota de inundación *CI*.

Los actores son las personas y organizaciones amenazadas. Para identificarlos se aplicó el proceso de PCM (2010) desarrollado en Reyes (2013). A continuación se expone paso a paso este análisis. Cabe señalar que para este caso, se consideraron sólo los actores locales, es decir los concernientes a las localidades de Viña del Mar y Concón.

- I. Se identificaron los actores amenazados y definieron como se muestra en la Tabla 8-1:

Tabla 8-1: Definición de actores. (Reyes, 2013)

		TIPO					
		COMUNIDAD		GOBIERNO		PRIVADO	
ACTORES	C.1	habitantes	G.1	Municipio	P.1	transporte público	
	C.2	surfistas	G.2	Gobierno regional	P.2	personal aseo	
	C.3	bañistas	G.3	La Armada	P.3	comerciantes (pequeños, medianos, grandes)	
	C.4	turistas	G.4	Fuerzas de seguridad y auxilio	P.4	privados (micro y macro empresarios)	
	C.5	pescadores artesanales			P.5	universidades	
	C.6	artistas			P.6	colegios	
	C.7	viviendas			P.7	jardines	
	C.8	caletas			P.8	C. de Investigación	
	C.9	áreas verdes y ciclovías			P.9	Radio	
					P.10	TV	
					P.11	paseos y defensas costeros	

Los códigos C7, C8, C9 y P11 no son actores, pero son espacios, estructuras y/o edificaciones importantes donde los actores son amenazados.

- II. Los actores se agruparon de acuerdo a la Tabla 8-2.

Tabla 8-2: Agrupación de los actores. (Reyes, 2013)

	ACTORES	
BENEFICIARIOS	C.2	surfistas
	C.3	bañistas
	C.5	pescadores artesanales
	P.1	transporte público
	P.2	personal aseo
	C.6	artistas
	P.3	comerciantes (pequeños, medianos, grandes)
	C.4	turistas
	C.1	habitantes
	C.7	viviendas
AGENCIAS DE IMPLEMENTACIÓN	P.4	privados (micro y macro empresarios)
	G.1	Municipio
	G.3	La Armada
RESPONSABLES POLÍTICOS	G.1	Municipio
	G.3	La Armada
AGENCIAS DE FINANCIAMIENTO	G.1	Municipio
	P.4	privados (micro y macro empresarios)
AGENCIAS DE COLABORACIÓN	P.4	privados (micro y macro empresarios)
	P.5	universidades
	P.6	colegios
	P.7	jardines
	P.8	C. de Investigación
	P.9	Radio
	P.10	TV
	G.1	Municipio
	G.3	La Armada
	G.4	Fuerzas de seguridad y auxilio
GENTE AFECTADA NEGATIVAMENTE		
OPONENTES POTENCIALES	P.3	comerciantes (pequeños, medianos, grandes)
	P.4	privados (micro y macro empresarios)
	C.5	pescadores artesanales

Las agrupaciones de Tabla 8-2 se organizan según la solución de disminuir el riesgo ante la probabilidad de ocurrencia de la amenaza.

- III. De los actores nombrados en el paso I, se seleccionaron los más amenazados.
- IV. Se analizó la importancia de los actores más amenazados a través de una breve descripción de problemas y análisis FODA (
- V. Tabla 8-3).

A continuación se expone la

Tabla 8-3 con los antecedentes del análisis de actores para posteriormente identificar las vulnerabilidades.

Tabla 8-3: Análisis de actores, problemas y FODA. (Reyes, 2013)

ACTORES	FODA					
	Características / cantidad de individuos, organizaciones, transporte	PROBLEMAS	FORTALEZAS	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
C.2 surfistas	50	no respetan alerta o aviso, frecuentan irresponsablemente el borde costero y playas	conocen el comportamiento del mar	fomentan la irresponsabilidad	inclusión en la vigilancia de playas e integración a la red de informaciones	oposición a medidas, riesgo de accidente y/o muerte
C.3 bañistas	20	frecuentan irresponsablemente el borde costero y playas		desinformación, irresponsabilidad	educación e información	riesgo de accidente y/o muerte
P.1 transporte público	12000 - 23328 (público, privado, no motorizado)	atochamientos, panas por inundación	mayor protección de las personas que podrían ser dañadas	desinformación, irresponsabilidad	información, organización, transporte de gente afectada	volcamientos, accidentes colectivos, accidente y/o muerte de pasajeros
C.4 turistas	7000*	frecuentan irresponsablemente el borde costero y playas	procuran estar informados	desinformación	educación e información	peligro sorpresivo
C.1 habitantes	41521	frecuentan irresponsablemente el borde costero y playas	difunden la información a los no residentes	desinformación	educación e información	riesgo de accidente y/o muerte
G.1 Municipio	Viña del Mar, Concón	desorganización, problemas de comunicación entre las entidades gubernamentales y población, más interés turístico que por la seguridad de la población	segundos informantes, sostenimiento económico, competencias profesionales	desorganización, descoordinación entre informantes	organización ciudadana, difusión y comunicación, aporte económico, aumento del turismo	disminución del turismo, inversión extra en reparaciones, fallas de comunicación
G.3 La Armada	Sv. Meteorológico de la Armada	falta de recursos, equipos insuficientes, retraso tecnológico, comunicación deficiente	primeros informantes a las entidades y población, conocimiento meteorológico y marítimo	descoordinación entre informantes	reestablecimiento del sistema de alerta y comunicación	fallas de comunicación
P.9 Radio P.10 TV	Radio TV MSN de texto telefónico	falta de sincronización con informantes	terceros informantes, difusión rápida y extensa	descoordinación entre informantes	difusión, red	fallas de comunicación
C.7 viviendas	20% de 19084 = 3817 sólo borde costero	damnificados, incendios por problemas eléctricos, suspensión de suministros básicos	mayor protección de las personas que podrían ser dañadas	situarse en área de riesgo	podrían quedar inhabitables por inundación, fallas eléctricas, fallas estructurales	riesgo de accidente y/o muerte por fallas eléctricos debido a inundaciones, deterioro, destrucción
C.8 caletas	Caleta Montemar	botes a la deriva, falta de apoyo en rescate de botes	conocen comportamiento del mar	falta recursos	información, difusión, integración a red de informantes	inundaciones, pérdida de herramienta de trabajo
P.11 paseos y defensas costeros	Perú, San Martín, Jorge Montt, Borgoño	falta de vías de evacuación, daños y/o destrucción	protección, disipación de la fuerza del oleaje	mal diseño, falta de mantención, alta presencia de personas	mantenimiento, restauración, vías de evacuación	sobrepaso, inundaciones daños y/o destrucción de viviendas y comercio, accidentes de tránsito
C.9 áreas verdes y ciclovías	Perú, San Martín, Jorge Montt, Borgoño	daños y/o destrucción de áreas verdes de paseo y ejercitación	protección, disipación de la fuerza del oleaje	alta presencia de personas	mantenimiento, restauración, vías de evacuación	riesgo de muchas personas que acuden constantemente a estas áreas
G.4 Fuerzas de seguridad y auxilio	bomberos, carabineros, ambulancias, rescate marítimo	auxilio, resguardo, protección, salvamento a tiempo	auxilio, resguardo, protección, salvamento	desorganización, falta de implementación de personal y equipo cercanos al área costera, comunicación tardía	educación, información, organización, sectorización, disminución en tiempo de operación	salvamento y seguridad de las personas

Los antecedentes de las zonas afectadas en cuanto a población y viviendas son fuente del Instituto Nacional de Estadísticas del plan de Viña del Mar y otros datos de Viña-Valparaíso (INE, 2002).

En las características de los actores como personas naturales, se contempla la cantidad de personas diarias que frecuenta el borde costero, según un porcentaje de la cantidad de individuos y/o habitantes de toda la ciudad de Viña del Mar. Es decir, se contempla sólo un 20% como el borde costero de las zonas poniente y norte que se exponen en la Figura 8-1.

El flujo vehicular fue un cálculo que se hizo a partir de un promedio del flujo de vehículos de la simbología expuesta en la Figura 8-2.

Estos flujos se dan en las intersecciones más presenciadas en un tiempo de 15 minutos. Los colores considerados para el flujo del borde costero fueron amarillos, anaranjados y rojos. De este promedio se calculó el flujo diario. La cantidad de viviendas, al igual que la cantidad de habitantes en la zona del borde costero, se calculó con el 20% del total de viviendas catastradas en el plan de Viña del Mar según la Figura 8-3 (INE, 2002).

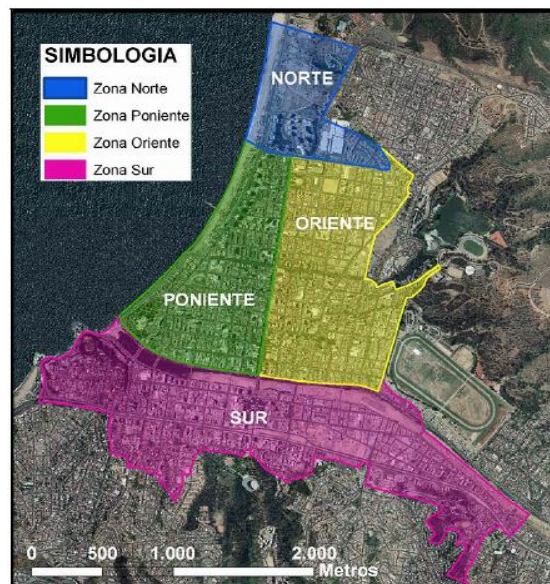


Figura 8-1: Zonas del plan de Viña del Mar. (Bonilla, 2012)

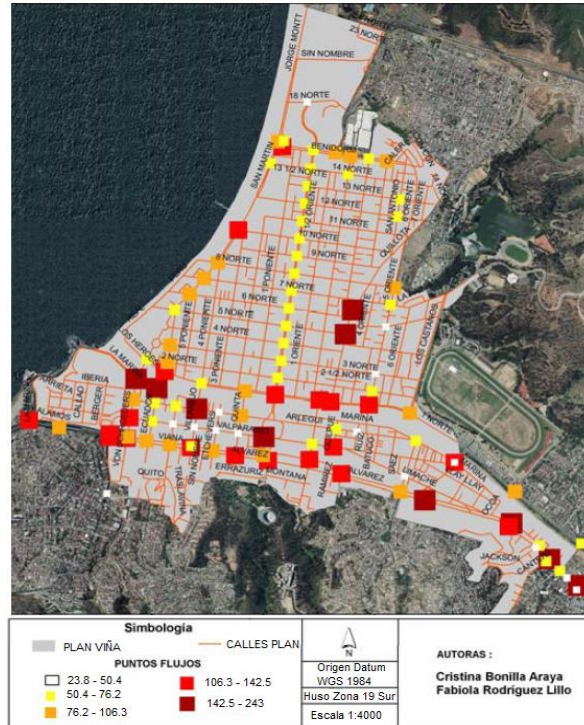


Figura 8-2: Flujo de vehículos en intersecciones del plan de Viña del Mar. (Bonilla, 2012)

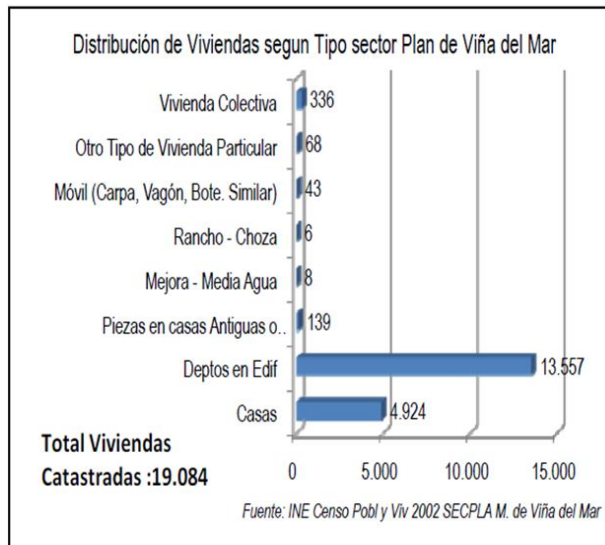


Figura 8-3: Censo viviendas plan Viña del Mar. (INE, 2002)

El cálculo de las estadísticas es una aproximación de los sectores estudiados, porque si bien contempla un porcentaje del plan de Viña, no está considerado el borde costero de Reñaca ni Concón. Además para el caso de los eventos de oleaje extremo, estos suelen darse generalmente en invierno, por lo que el número de personas y flujo vehicular es menor de lo que comúnmente se da.

Luego de este análisis, el procedimiento para lograr disminuir el riesgo sigue con:

- Observar y reconocer los daños y peligros post-evento
- Identificar las vulnerabilidades en base a la consecuencias de los daños
- Evaluar el impacto cualitativamente con parámetros según daños
- Evaluar el posible riesgo

8.1.2 MATRIZ DE IMPACTO

Los daños se asocian al impacto sobre alguna vulnerabilidad del sistema quedando estructurados del mismo modo (Reyes, 2013). Así, las víctimas humanas, el impacto económico y el impacto socio-ambiental se asociaron a las vulnerabilidades humanas, económicas y socio-ambientales, respectivamente.

La severidad de los daños, dependerá del sistema que se analice y la manera en que los receptores puedan verse afectados. Llámese receptores al entorno dañado. De acuerdo a esto, los parámetros establecidos obedecen a ciertos criterios y supuestos, sujetos a cambios según cualquier antecedente o estudio extra que pueda ser incorporado para tener una información más fehaciente de los hechos.

A continuación se especifican los criterios utilizados para determinar los parámetros de la matriz de impacto. En general, los criterios se establecieron en base a los antecedentes de los eventos históricos ocurridos en la zona.

Vulnerabilidad humana (H)

- 1) Se establecen rangos de impacto humano en términos de la cantidad de víctimas por ahogamiento, propuestas de acuerdo a los eventos históricos ocurridos en la zona.
- 2) Los porcentajes se refieren a la población del borde costero analizado con la cantidad de habitantes (
- 3) Tabla 8-3 y Figura 8-1).
- 4) Los parámetros de muertes y accidentes se establecieron de acuerdo a los antecedentes históricos de prensa revisados (El Mostrador, 2015).

La matriz de criterios para el impacto en personas se muestra en la siguiente Tabla 8-4.

Tabla 8-4: Criterios para el impacto en personas

		CRITERIOS (VH)				
VÍCTIMAS HUMANAS (VH)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
VH.I	Cantidad de personas muertas por ahogamiento, trauma o accidente:	ninguna.	1.	2.	3.	más de 3.
VH.II	Cantidad de personas heridas por trauma o accidente:	ninguna.	3	de 3 a 5.	de 5 a 8.	más de 8.
VH.III	Confiabilidad de los sistemas de alerta temprana:	100%.	70%.	50%.	20%.	0%.
VH.IV	Nivel de educación y entrenamiento de las personas (óptimo 100%):	100%.	70%.	50%.	20%.	0%.
VH.V	Disponibilidad de equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de equipos profesionales y comunitarios de rescate (óptimo 100%):	100%.	70%.	50%.	20%.	0%.

Vulnerabilidad infraestructural (I)

- 1) Los porcentajes de construcciones costeras habitacionales y privadas están referidas a los antecedentes estadísticos de viviendas de la Figura 8-3.
- 2) La escala cualitativa de tiempo de reparación de los daños está referida a la Tabla 8-5.
- 3) Otros criterios se referenciaron a las normas de seguridad y riesgos de la ROM (1990) y la ROM (1994).

Tabla 8-5: Escala cualitativa de reparación de daños

TIEMPO DE REPARACIÓN DE LOS DAÑOS	
corto plazo	1 mes
mediano plazo	2 meses
largo plazo	3 meses y más

La matriz de criterios para el impacto en infraestructura se muestra en la siguiente Tabla 8-6.

Tabla 8-6: Criterios para el impacto en infraestructura

		CRITERIOS (I)				
INFRAESTRUCTURA (I)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
I.I	El % de daño de construcciones costeras habitacionales y privadas por impacto/ inundación/ socavación es:	0%.	5%.	10%.	20%.	30%.
I.II	Los daños en estructuras de protección costera y paseos costeros por impacto/ inundación/ socavación son:	despreciables.	leves.	moderados, reparables a corto plazo.	serios, reparables a mediano plazo.	severos, reparables a largo plazo.

Vulnerabilidad de líneas de vida (LV)

- 1) Los porcentajes de suministro de agua potable y energía eléctrica están asociados a la cantidad de habitantes del borde costero estudiado (
- 2) Tabla 8-3).
- 3) Los daños sobre infraestructura vial son reparables según lo indicado en la Tabla 8-5.

La matriz de criterios para el impacto en servicios de líneas de vida se muestra en la siguiente Tabla 8-7.

Tabla 8-7: Criterios para el impacto en servicios de líneas de vida

		CRITERIOS (LV)				
SERVICIOS LÍNEAS DE VIDA (LV)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
LV.I	Problemas de suspensión y/o suministro de agua potable y energía eléctrica	inexistentes.	menores y no se requiere suministro.	moderados y se requiere suministro para el 5% de los habitantes.	serios y se requiere suministro para el 10% de los habitantes.	severos y se requiere suministro para el 20% de los habitantes.
LV.II	Problemas en el sistema de comunicaciones	inexistentes.	menores y no requiere ser sustituido.	moderados y requiere ser ajustado.	serios y requiere ser reimplementado.	severos y requiere ser sustituido.
LV.III	Problemas por recolección de aguas servidas y escombros	inexistentes.	menores, solucionables en días.	moderados, solucionables en una semana.	serios, solucionables en un mes.	severos, solucionables en más de un mes.
LV.IV	Daños sobre infraestructura vial	inexistentes.	leves, reparables en días.	moderados, reparables a corto plazo.	serios, reparables a mediano plazo.	severos, reparables a largo plazo.
LV.V	Exposición y daños de emisarios	inexistentes.	leves.	exposición leve y daños moderados.	alta exposición y daños serios.	completa exposición y daños severos.

Vulnerabilidad de sistemas de transporte (ST)

- 1) Los criterios establecidos para el impacto en el servicio de transporte se basaron en una aproximación de un estudio del flujo de vehículos (Figura 8-2).
- 2) Respecto a los accidentes de tránsito, se consideran sólo aquellos ocasionados por los eventos de oleaje extremo, ya sea por impacto, inundación o socavación.
- 3) Los daños en el sistema de transporte son reparables según lo indicado en la Tabla 8-5.

La matriz de criterios para el impacto en servicios de transporte se muestra en la siguiente Tabla 8-8.

Tabla 8-8: Criterios para el impacto en servicios de transporte

		CRITERIOS (ST)				
SERVICIO DE TRANSPORTE (ST)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
ST.I	Daños en caminos, vía férrea, marinas y ciclovías por impacto/ inundación/ mal drenaje/ diseño/ calidad de puentes y alcantarillas	despreciables.	leves reparables en días.	moderados reparables a corto plazo.	serios reparables a mediano plazo.	severos reparables a largo plazo.
ST.II	Accidentes de tránsito	inexistentes.	menores sin suspensión del tránsito.	moderados con interrupción leve del tránsito.	serios con interrupción y desvío del tránsito.	severos con suspensión del tránsito.
ST.III	Suspensión del tránsito en vías terrestres y marítimas afectadas	inexistente.	menor con reincorporación inmediata durante el día.	moderada con reincorporación en un par de días.	seria con reincorporación en semanas.	severa con reincorporación en al menos un mes.

Vulnerabilidad asociada a dificultades para la vida (DV)

- 1) Los porcentajes se refieren a la cantidad de habitantes considerados (
- 2) Tabla 8-3).
- 3) Los otros criterios se establecieron de acuerdo a los antecedentes de los eventos históricos ocurridos en la zona.

La matriz de criterios para el impacto en dificultades para la vida se muestra en la siguiente Tabla 8-9.

Tabla 8-9: Criterios para el impacto en dificultades para la vida

		CRITERIOS (DV)				
DIFICULTADES PARA LA VIDA (DV)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
DV.I	Disponibilidad/ equipamiento/ instalaciones/ entrenamiento/ acceso/ cobertura de asistencia médica, suministros de emergencia, refugio a damnificados y servicios sanitarios temporales	100% cubiertos.	70% cubiertos.	50% cubiertos.	60% deficientes.	70% deficientes.
DV.II	Pérdida de fuentes y herramientas de trabajo	inexistente.	menor, afectando al 5% de los habitantes.	moderada, afectando al 10% de los habitantes.	seria, afectando al 20% de los habitantes.	menor, afectando al 30% de los habitantes.
DV.III	Vías de evacuación bloqueadas por inundación/ socavación	libres.	con algunos escombros.	moderadamente inundadas.	inundadas y con inicios de derrumbe.	totalmente inoperables por inundación/ socavación.

Otras vulnerabilidades (O)

- 1) La pérdida del área de playa en planta puede medirse por aerofotogrametría antes y después de un evento de oleaje extremo.
- 2) El tiempo de recuperación de las áreas verdes se estableció según lo indicado en la Tabla 8-5.
- 3) Los porcentajes de disminución del turismo se establecieron en base a un 50% de un promedio de dos millones de turistas en la región de Valparaíso en época estival según las estadísticas del SERNATUR (2014). Se considera la mitad, porque los sitios de estudio sólo abarcan los principales balnearios de la región y sus alrededores.

La matriz de criterios para el impacto en otras vulnerabilidades se muestra en la siguiente Tabla 8-10.

Tabla 8-10: Criterios para el impacto en otros servicios o vulnerabilidades

		CRITERIOS (O)				
OTROS SERVICIOS (O)		DESPRECIABLE	MENOR	MODERADO	SERIO	SEVERO
Código	DAÑOS	1	2	3	4	5
O.I	Pérdida del área de playa	0 m.	2 m.	1/3 de playa recuperable a corto plazo.	la mitad de la playa recuperable a mediano plazo.	la playa entera recuperable a largo plazo.
O.II	Pérdida de áreas verdes y dependencias para recreación y deporte	inexistente.	menor y recuperable en un par de días.	moderada y recuperable a corto plazo.	seria y recuperable a mediano plazo.	severa y recuperable a largo plazo.
O.III	Disminución del turismo	nula.	baja, un 10%.	moderada, un 20%.	alta, un 30%.	muy alta, 40%.

Cabe destacar que para reducir los daños, y por ende el riesgo, es imprescindible contar con medidas de prevención o mitigación. Una de estas es el reglamento para bañistas de la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante (DIRECTEMAR) de la Armada de Chile, el cual cumple con la misión de informar lo siguiente:



Bandera ROJA: Playa No apta para baño ni nado.

Si en la playa hay Bandera ROJA significa que **NO ES SEGURO** bañarse ni nadar por sus fuertes corrientes y grandes olas. Ingresar al mar con bandera ROJA es arriesgar tu vida a un accidente o a morir ahogado.



Bandera VERDE: Playa apta para baño y nado.

Al llegar a una playa observa si hay bandera VERDE. Significa que ese lugar es seguro para bañarse y nadar. Aun así, siempre debes estar alerta y ser respetuoso con el mar.

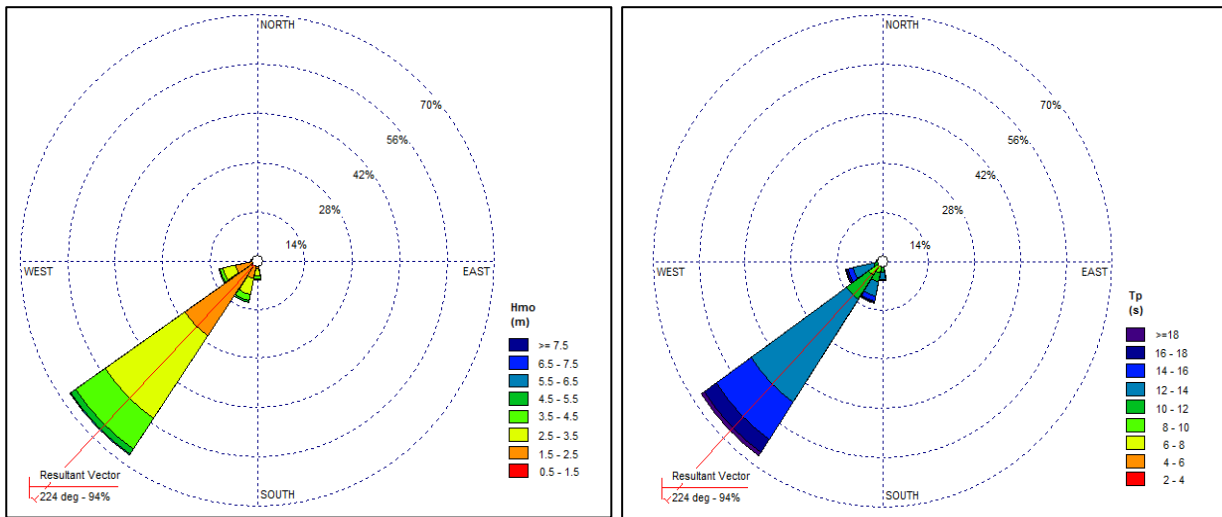
La información oportuna que anuncie el SHOA sobre las marejadas y el reglamento para bañistas, son las únicas herramientas que dispone el sector costero para enfrentar este fenómeno. Se desconocen parámetros y criterios de análisis del impacto para realizar una evaluación de riesgo en estos términos.

8.2 ANEXO N°2: OLEAJE

8.2.1 AGUAS PROFUNDAS

La data de oleaje consta de 20 años de *hindcasting* (1993-2013) obtenidos de la boya FUGRO. Esta data fue propagada como se describió en el capítulo 4.1.4.

El comportamiento del oleaje en aguas profundas se caracteriza de la siguiente manera:



El oleaje proviene mayoritariamente del Sur-Oeste (SW) con una media de 224 °. El rango de alturas de ola y períodos más frecuente es entre 2.5 y 3.5 m y entre 12 y 14 s, respectivamente.

Con una menor frecuencia, pero igual que el oleaje medio proveniente de los 224 ° se repite la distribución desde una dirección más norte, aproximadamente desde los 248 °.

Tabla 8-11: Tabla incidencia Hm0-Tp aguas profundas

Hmo [m]	Tp [s]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24		
0.5-1			0.04	0.22	0.09	0.04	0.03				0.41	0.41
1-1.5	0.02	0.04	0.36	2.29	1.94	0.41	0.26	0.01			5.33	5.74
1.5-2	0.06	0.43	0.59	4.89	8.32	1.39	0.64	0.05	0.02	0.02	16.40	22.15
2-2.5	0.02	0.97	0.90	3.92	13.20	2.39	0.98	0.04	0.02	0.01	22.44	44.59
2.5-3		1.37	1.35	2.30	12.45	3.46	1.16	0.05	0.01		22.14	66.73
3-3.5		0.79	1.90	1.23	7.64	4.02	1.20	0.02			16.80	83.54
3.5-4		0.26	1.43	0.62	3.33	2.93	1.00	0.02			9.59	93.13
4-4.5		0.04	0.68	0.33	1.15	1.18	0.82	0.02			4.22	97.35
4.5-5			0.24	0.17	0.35	0.57	0.50				1.84	99.19
5-5.5			0.11	0.07	0.05	0.19	0.22				0.64	99.83
5.5-6			0.01	0.02	0.01	0.04	0.06				0.15	99.98
6-6.5				0.01			0.01				0.02	100.00
Total frec. relativa	0.10	3.90	7.61	16.08	48.52	16.62	6.89	0.21	0.05	0.03	100.00	
Total frec. acumulada	0.10	4.00	11.60	27.68	76.20	92.82	99.71	99.92	99.97	100.00		

Referente a las tablas es significativo destacar que se presentan alturas de ola de 4.0-4.5 m con períodos altos de 18-20 s y una incidencia proveniente del cuarto cuadrante de entre 280 y 305 °, información importante, ya que los sitios de estudio y generalmente las bahías a lo largo de Chile se encuentran expuestas al oleaje proveniente del NW.

Tabla 8-12: Tabla incidencia Hmo-Dp aguas profundas

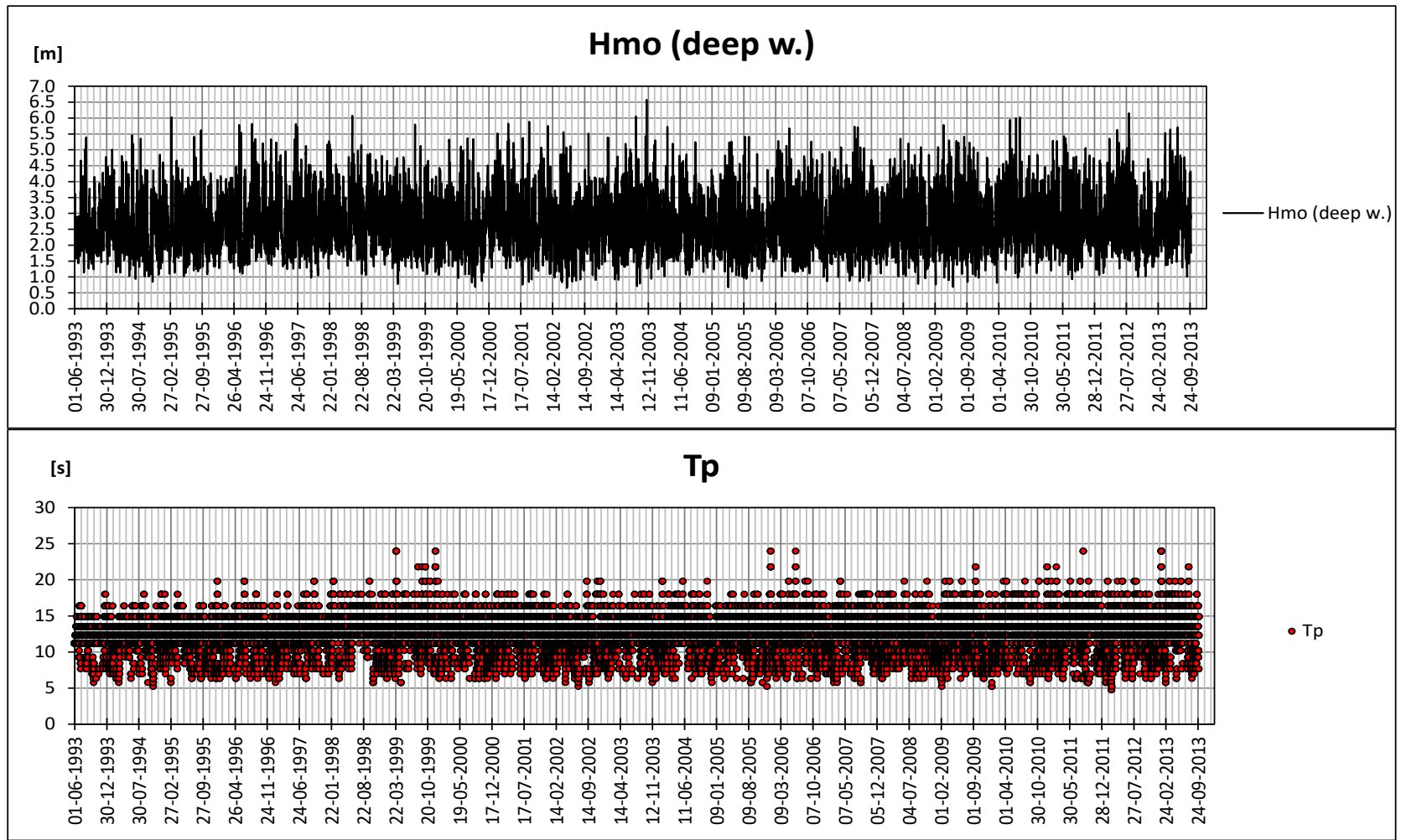
Hmo [m]	Dp [°]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	5-30	155-180	180-205	205-230	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355			
0.5-1			0.12	0.10	0.17	0.02		0.01			0.41	0.41
1-1.5			1.37	1.83	1.80	0.21	0.00	0.12			5.33	5.74
1.5-2			3.09	7.25	5.39	0.40	0.03	0.24			16.40	22.15
2-2.5			3.67	12.04	6.01	0.41	0.02	0.29			22.44	44.59
2.5-3	0.01	0.01	3.57	12.75	5.02	0.48	0.02	0.27	0.02		22.14	66.73
3-3.5		0.01	2.92	10.06	3.33	0.30	0.02	0.13	0.03		16.80	83.54
3.5-4			1.74	5.82	1.73	0.16	0.04	0.06	0.04		9.59	93.13
4-4.5			0.88	2.47	0.72	0.07	0.01	0.04	0.04		4.22	97.35
4.5-5			0.45	1.01	0.29	0.04		0.01	0.05		1.84	99.19
5-5.5			0.13	0.34	0.12	0.01		0.01	0.02		0.64	99.83
5.5-6			0.02	0.08	0.04				0.01		0.15	99.98
6-6.5				0.02							0.02	100.00
Total frec. relativa	0.02	0.02	17.95	53.78	24.62	2.11	0.14	1.17	0.20		100.00	
Total frec. acumulada	0.02	0.04	17.99	71.76	96.39	98.50	98.63	99.80	100.00			

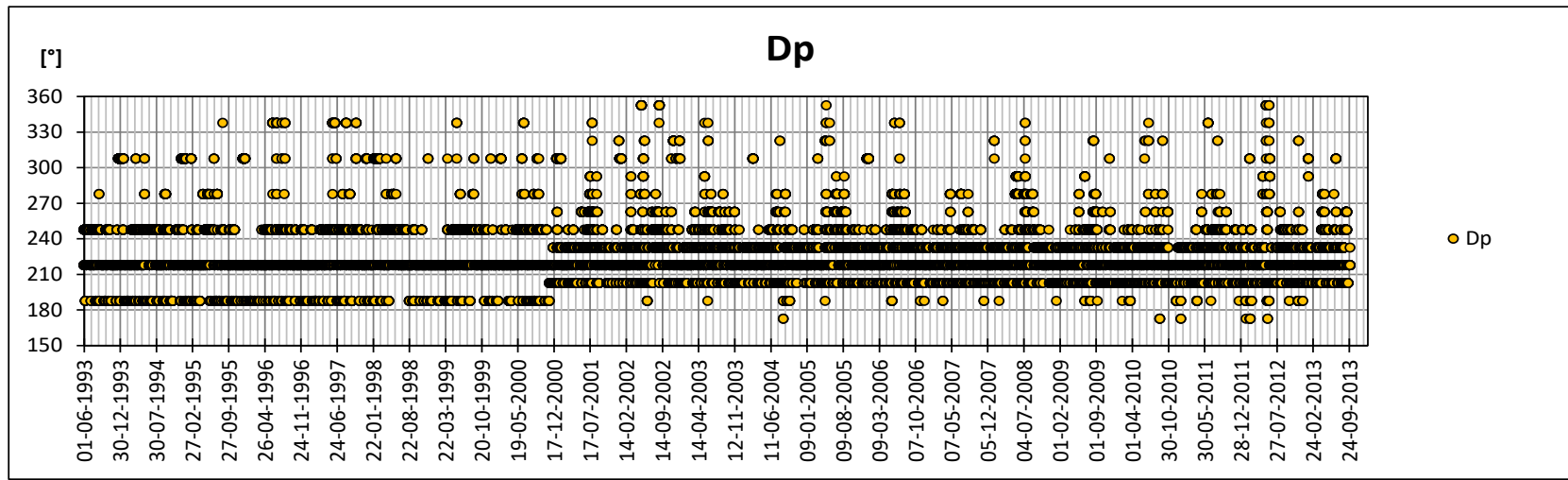
La distribución de períodos versus direcciones también destaca un porcentaje no menor respecto a los otros, de una frecuencia de altos períodos (16-22 s) con una incidencia desde el norte (280-355 °).

Tabla 8-13: Tabla incidencia Tp-Dp aguas profundas

Tp [s]	Dp [°]									Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	5-30	155-180	180-205	205-230	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
4-6			0.05	0.03	0.01					0.10	0.10
6-8	0.01	0.02	2.08	1.54	0.16	0.01		0.04	0.04	3.90	4.00
8-10			3.48	3.36	0.32	0.19	0.05	0.07	0.13	7.61	11.60
10-12			4.11	6.89	3.94	0.94	0.07	0.11	0.02	16.08	27.68
12-14			5.92	28.30	13.09	0.86	0.01	0.35		48.52	76.20
14-16			1.60	9.78	4.90	0.09		0.25		16.62	92.82
16-18			0.69	3.73	2.13	0.02		0.32		6.89	99.71
18-20			0.02	0.11	0.07			0.02		0.21	99.92
20-22				0.03	0.01			0.01		0.05	99.97
22-24				0.02						0.03	100.00
Total frec. relativa	0.02	0.02	17.95	53.78	24.62	2.11	0.14	1.17	0.20	100.00	
Total frec. acumulada	0.02	0.04	17.99	71.76	96.39	98.50	98.63	99.80	100.00		

A continuación se muestran gráficamente las distribuciones de la altura de ola H_{m0} , período peak T_p y dirección peak D_p de toda la data de aguas profundas.





8.2.2 PROPAGACIÓN

El método de propagación utilizado en este trabajo y propuesto por Domínguez (2011) consiste en realizar una transferencia de espectros unitarios por medio de simulaciones de un modelo numérico. Es decir, de la propagación del oleaje de espectros unitarios y por medio de la transferencia espectral, se obtienen los coeficientes de agitación los cuales determinarán, junto a la data real de oleaje espectral en aguas profundas, los espectros reales en los sitios de estudio. Cabe destacar además que en este método no se consideran procesos no lineales en las simulaciones numéricas y que la función de transferencia a emplear, no se encuentra documentada para su aplicación.

El método de propagación se resume en los siguientes pasos:

- 1) Crear espectros sintéticos (de la forma Jonswap) en aguas profundas con altura de ola significativa de 1 metro (unitaria) y un rango de diferentes direcciones y frecuencias *peak*.
- 2) Propagar estos espectros uno a uno en el modelo, obteniendo los espectros unitarios en los sitios de estudio.
- 3) Utilizar la función de transferencia para obtener los coeficientes de agitación y para aplicarla a cada espectro real de la serie de tiempo (*hindcasting* de 20 años) con el fin de conseguir los espectros equivalentes transformados en los sitios de estudio. Esto se realiza a partir de la distribución energética determinada por la propagación de espectros unitarios.

En la propagación espectral es importante considerar la misma discretización de direcciones y frecuencias espectrales en aguas profundas y en los sitios de estudio. Esto quiere decir; si se construyen los espectros unitarios con una discretización de 24 direcciones y 29 frecuencias, las salidas de los espectros unitarios propagados en el modelo, deben indicar lo mismo. De esta forma los espectros comparten los mismos bins de energía.

Lo mismo se considera cuando se utiliza la función de transferencia determinada por los coeficientes de agitación α_k . Los espectros unitarios de entrada para el modelo en aguas profundas deben interpolarse para coincidir con la discretización de los espectros reales de entrada. Así, nuevamente los bins de energía coinciden y la transferencia de energía

no se ve interrumpida. Con ello se forma un sistema lineal para realizarla transferencia espectral a través de operaciones matriciales y conseguir los verdaderos espectros en los sitios de estudio como una combinación de los espectros unitarios obtenidos de la propagación.

Las ecuaciones empleadas en esta metodología son las siguientes: según lo establece Domínguez (2011) y la ecuación (8.1), cada bin del espectro real r_{f_i,θ_i} puede escribirse como la suma ponderada de la energía contenida en el mismo bin u_{f_i,θ_j}^k en cada espectro unitario U^k .

$$r_{f_i,\theta_i} \cong \sum_{k=1}^p \alpha_k x u_{f_i,\theta_j}^k \quad (8.1)$$

Esquemáticamente, los bins de energía de cada espectro unitario k se organizan en una columna simple, como se expone en la ecuación (8.2).

$$U^k = \begin{bmatrix} u_{f_1,\theta_1}^k \\ u_{f_2,\theta_1}^k \\ \dots \\ u_{f_n,\theta_1}^k \\ u_{f_1,\theta_2}^k \\ u_{f_2,\theta_2}^k \\ \dots \\ u_{f_i,\theta_j}^k \\ u_{f_n,\theta_m}^k \end{bmatrix} \quad (8.2)$$

Entonces, se realiza lo mismo para los bins de energía de los espectros reales R como se muestra en la ecuación (8.3).

$$R = \begin{bmatrix} r_{f_1,\theta_1} \\ \dots \\ r_{f_n,\theta_m} \end{bmatrix} \quad (8.3)$$

Luego, se forma la matriz A (8.4) donde se disponen los p espectros unitarios U^k en columnas.

$$A = \begin{bmatrix} U^1 & \dots & U^k & \dots & U^p \end{bmatrix} \quad (8.4)$$

Finalmente, el sistema matricial se resuelve por mínimos cuadrados como se expresa en la ecuación (8.5).

$$U^k = \begin{bmatrix} u_{f_1, \theta_1}^1 & \dots & u_{f_1, \theta_1}^p \\ \dots & \dots & \dots \\ u_{f_n, \theta_m}^1 & \dots & u_{f_n, \theta_m}^p \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \dots \\ \alpha_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{f_1, \theta_1} \\ \dots \\ r_{f_n, \theta_m} \end{bmatrix} \quad (8.5)$$

La solución puede verificarse con la ecuación (8.6) donde la construcción de los espectros sintéticos S en aguas profundas (siendo esta la sumatoria del producto entre U^k y los α_k debiesen ser casi idénticos a los espectros reales en aguas profundas R).

$$S = \sum_{k=1}^p \alpha_k x U^k \Rightarrow S \approx R \quad (8.6)$$

La solución del sistema planteado en la ecuación (8.5) entrega los multiplicadores para construir el espectro real en el sitio de interés R' . Esto se consigue con la combinación lineal de los espectros unitarios transformados U'^k como se observa en la ecuación (8.7).

$$R' = \sum_{k=1}^p \alpha_k x U'^k \quad (8.7)$$

Considerar que la solución anterior aplica sólo para un único espectro en aguas profundas R . De acuerdo a esto, el sistema lineal de las ecuaciones (8.5) y (8.7) deben ser resueltos y aplicados cada vez.

En la Figura 8-4 y la Figura 8-5 se ilustra un ejemplo de la propagación de oleaje, donde se muestran los campos de vectores para la altura significativa H_m y período medio T_m , respectivamente.

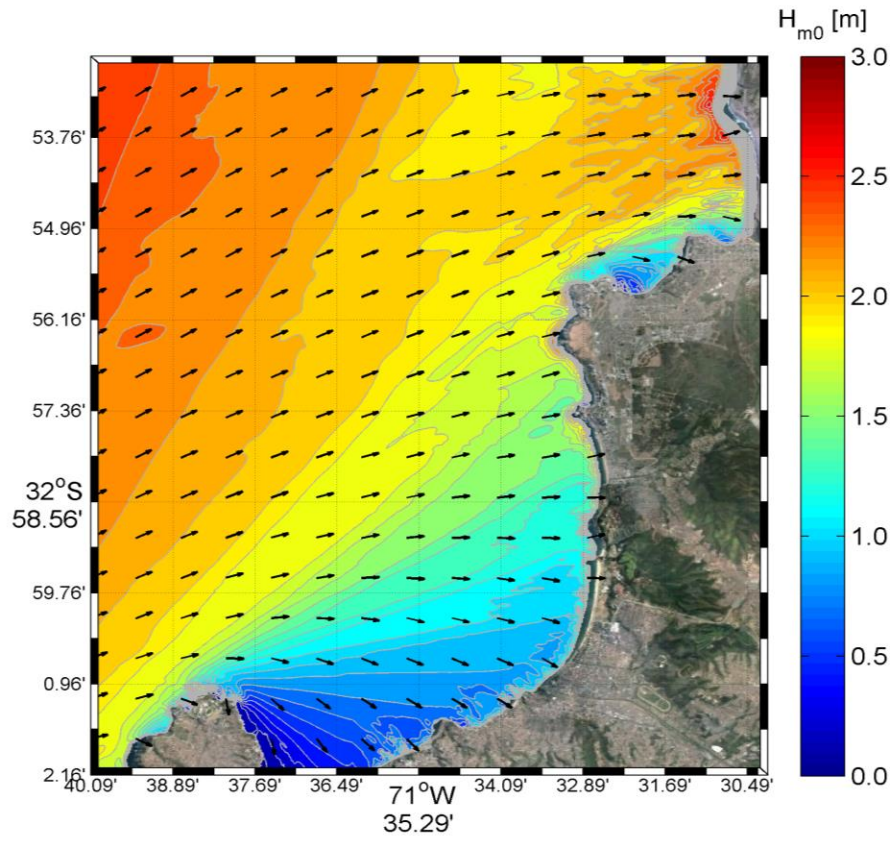


Figura 8-4: Campo vectores propagación oleaje, H_{m0}

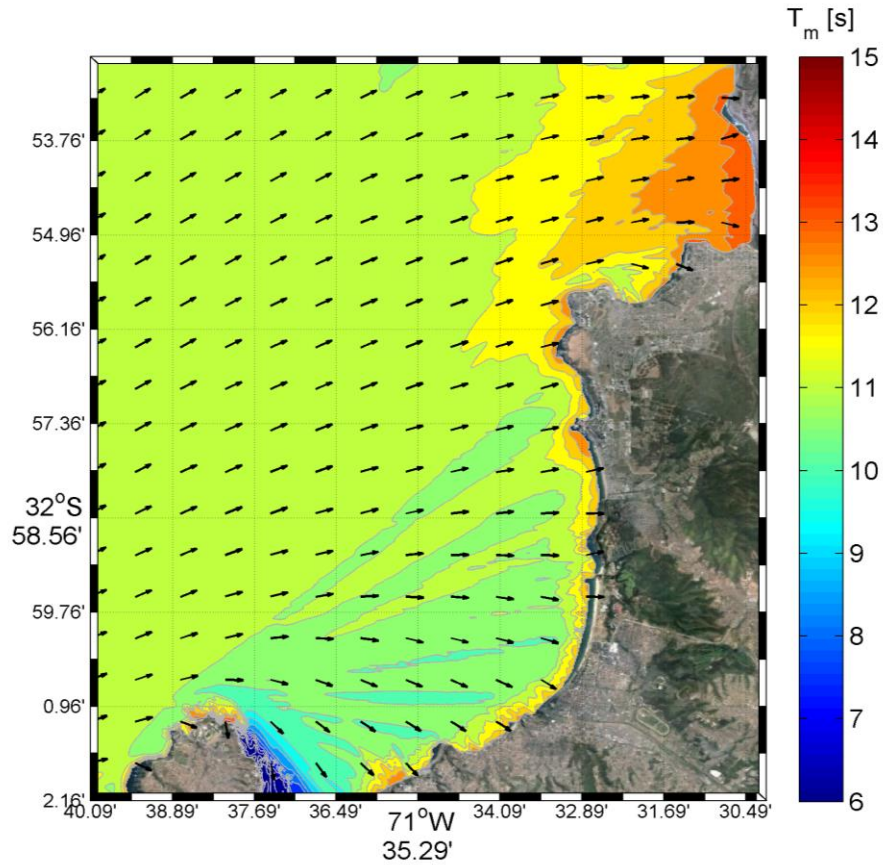


Figura 8-5: Campo vectores propagación oleaje, período medio T_m

8.2.3 PENDIENTE MEDIA

La pendiente media, $\tan\beta$ se obtuvo trigonométricamente con los datos de batimetría y la aplicación del software Global Mapper, para cada sitio de interés. Cada pendiente se calculó en base a una profundidad aproximada a los 18 metros, tomando como referencia la línea de costa o superficie del agua en 0 m. De acuerdo al perfil de cada playa, la distancia a la que se encuentran dichas profundidades mar adentro, varía.

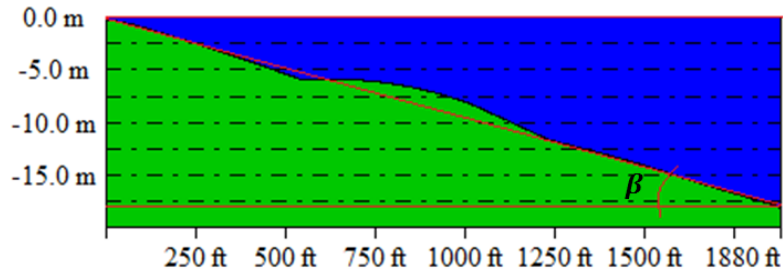


Figura 8-6: Pendiente, $\tan\beta$

En la Tabla 4-1 se especifican para cada sitio de estudio su ubicación geográfica, profundidad a la que se obtuvo el dato de ola propagada o cateto opuesto de β y la pendiente de cada playa.

8.2.4 WAVE RUNUP

El *runup*, definido en la ecuación (3.9), se describe como el nivel máximo de la elevación instantánea del agua, η , en la línea de costa. Al contener en su definición el número de Iribarren, fue necesario obtener la pendiente media de playa como se vio en el capítulo 8.2.3.

La altura de ola a los 18 m de profundidad, H_p se obtuvo de la propagación y la longitud de la ola a la misma profundidad se aproximó a la longitud de onda en aguas someras:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \approx T\sqrt{gh} \text{ (aguas someras)}$$

Como la longitud depende del período, se analizaron dos casos para el cálculo del *runup*.

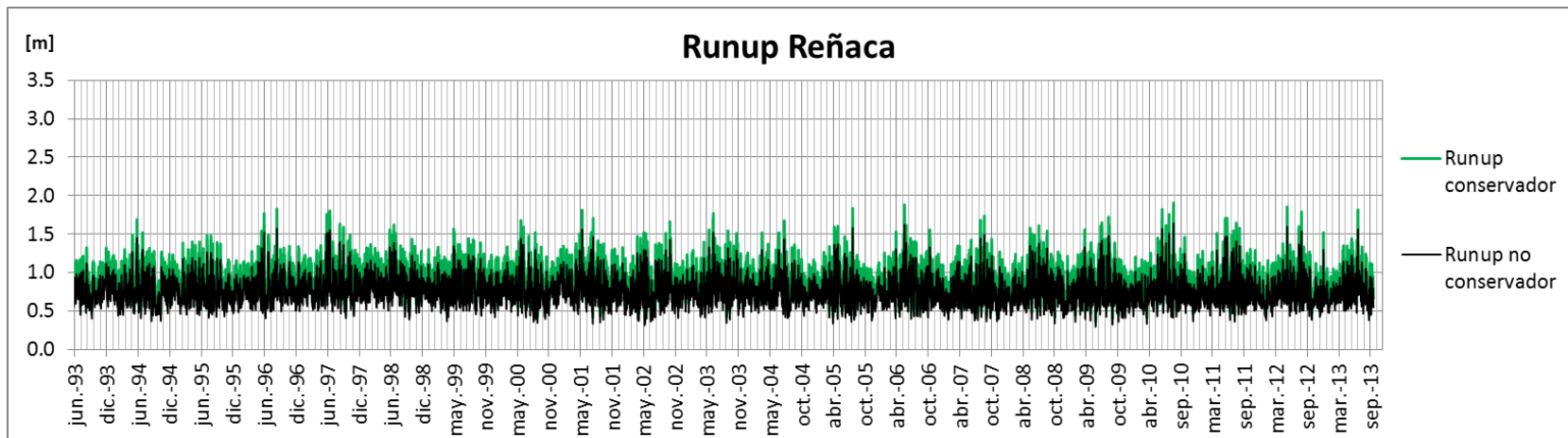
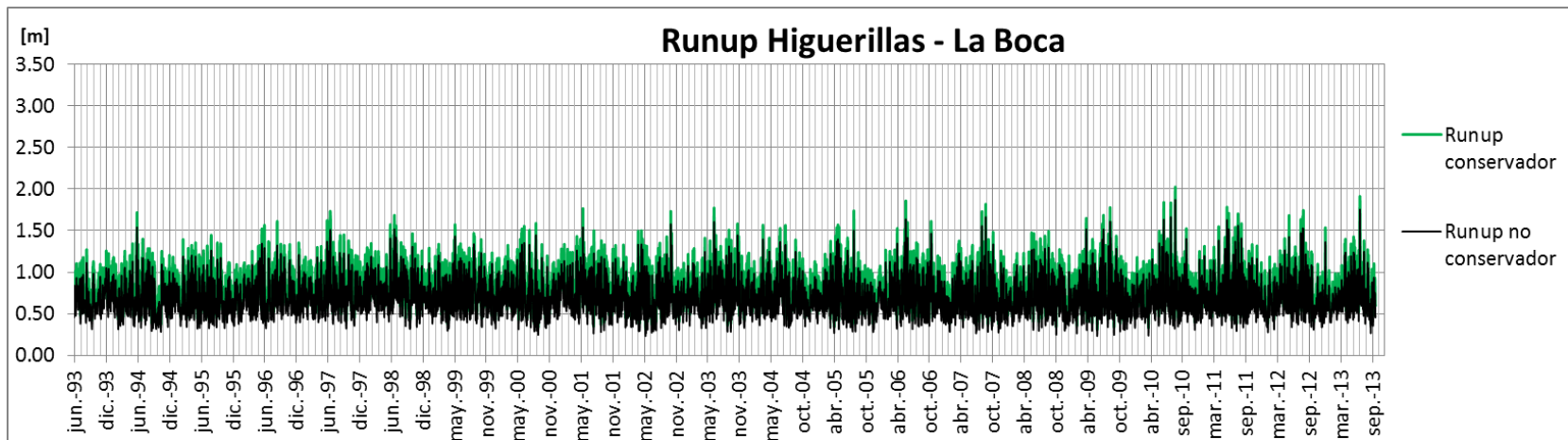
CASO 1: CONSERVADOR

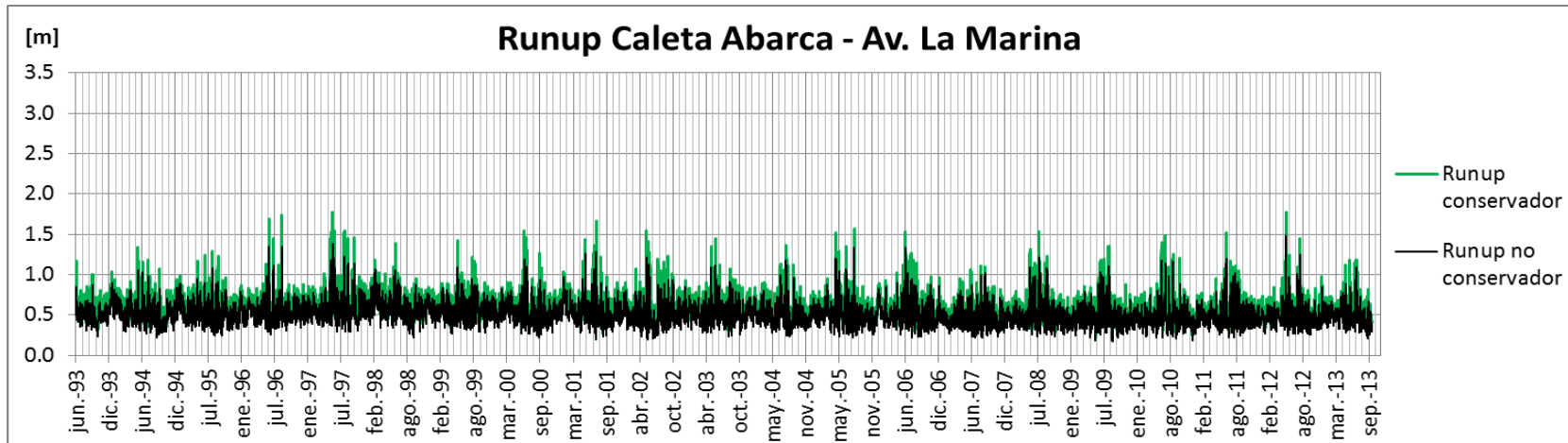
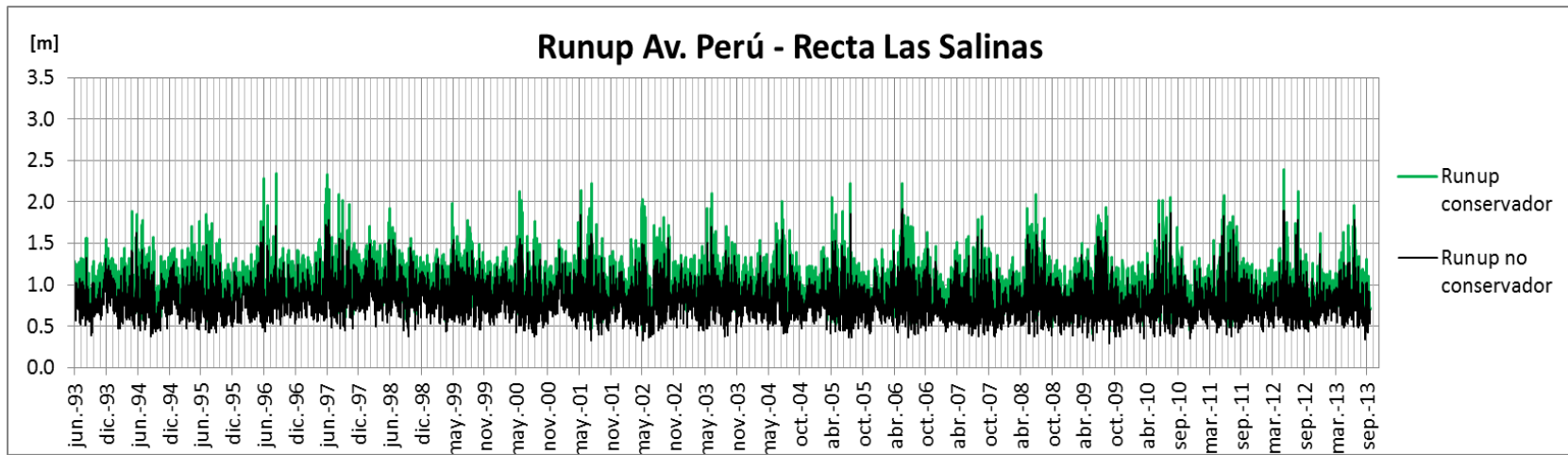
La serie temporal de *runup* Ru_2 en este caso conservador, se calculó para una sola longitud de onda L contenida en el número de Iribarren ξ ; aquella que considera el período máximo de toda la serie de T_p . Con este período se obtuvo una longitud mayor a la considerada con un período menor, debido a que L es directamente proporcional al período, al número de Iribarren y al *runup*.

CASO 2: NO CONSERVADOR

En este caso, la longitud de onda contenida en el número de Iribarren ξ , es calculada para cada dato de T_p en su extensión temporal, dando como resultado una serie de tiempo de L . Con ella se calculó el número de Iribarren ξ , a su vez incluido en el cálculo de Ru_2 para construir su serie temporal.

Los resultados temporales de *runup* para los casos conservador y no conservador se presentan en las siguientes gráficas. En ellas se observa que los niveles de Ru_2 más altos se obtuvieron en Av. Perú - Recta Las Salinas alcanzando los 2.4 m.





8.2.5 MAREAS

Para el análisis de marea, se cuenta con la data de niveles del mar desde el año 1993 hasta 2013, fechas coincidentes con el registro de oleaje de 20 años; desde 01-06-1993 a las 0:00 hrs. hasta el 30-09-2013 a las 18 hrs.

Estos niveles, otorgados por el SHOA, se encuentran referidos al NRS, por lo que a cada dato de nivel se le adicionó +0.91m, valor del *NRS* por debajo del nivel medio del mar (SHOA, 2012).

El nivel medio del mar o *NMM* se consideró como la media de toda la data, es decir +1.65 m. Los datos sin registro fueron considerados con el valor del nivel medio del mar (+1.65 m).

El análisis armónico se realizó para cada año por separado con el fin de obtener los armónicos y el residuo o marea meteorológica en un período de tiempo donde ocurren cambios estacionales.

La descomposición del registro de ondas de marea resultó de la ecuación (3.2). Con ella se obtuvo el nivel de marea astronómica, Z_{MA} para cada dato del registro. Se adicionó a estos niveles, el nivel medio del mar, *NMM*.

La señal temporal de los niveles de marea meteorológica Z_{MM} o residuo se extrajo de la diferencia entre el registro del nivel del mar y el valor de la señal de niveles de marea astronómica Z_{MA} .

8.2.6 COTA DE INUNDACIÓN

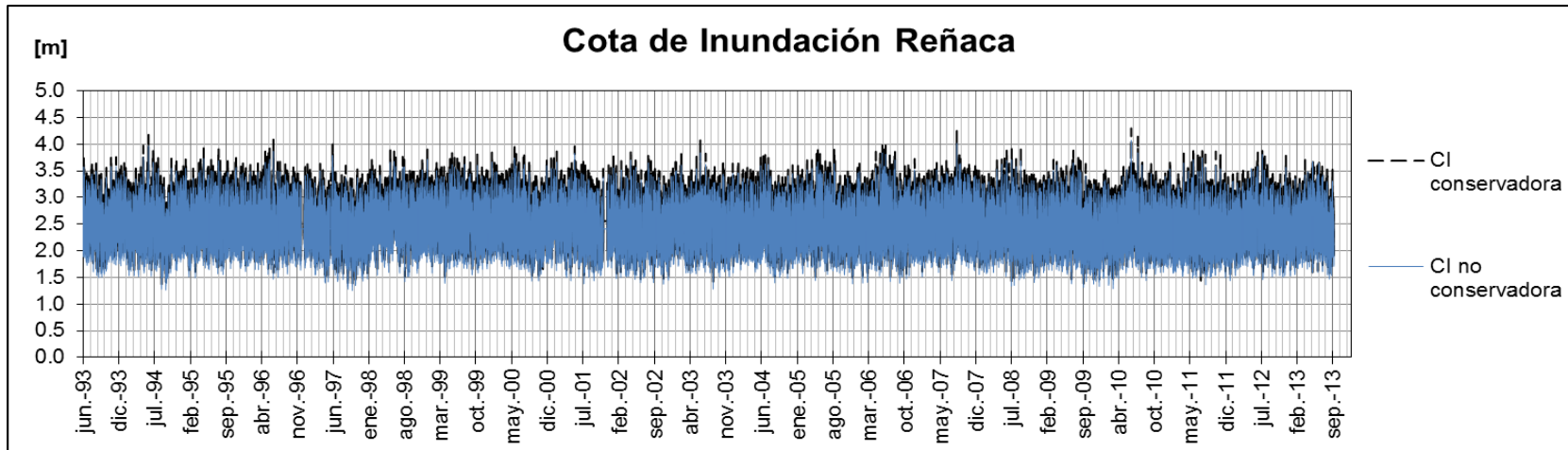
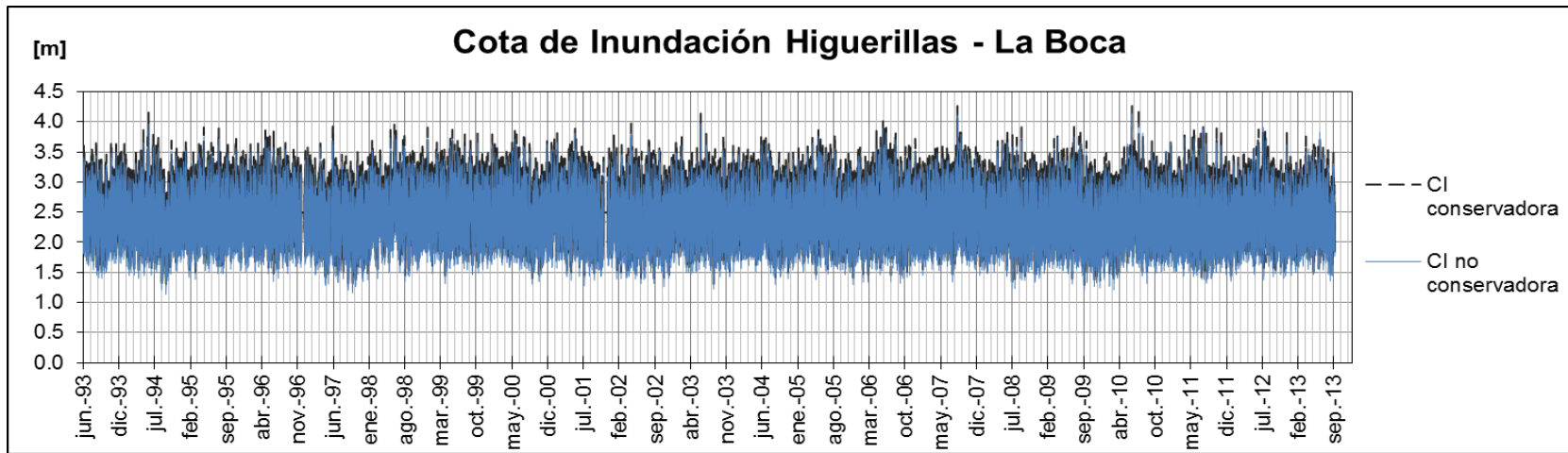
La cota de inundación se obtuvo de la superposición de las series temporales de marea astronómica Z_{MA} , marea meteorológica Z_{MM} y *runup* Ru_2 como se definió en la ecuación (3.10).

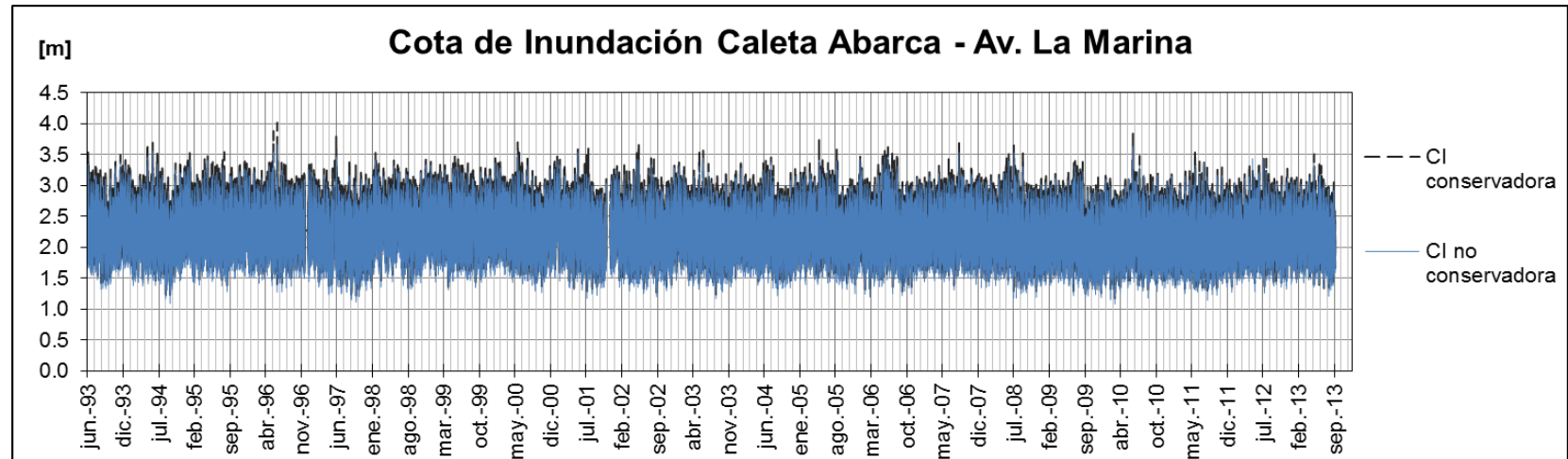
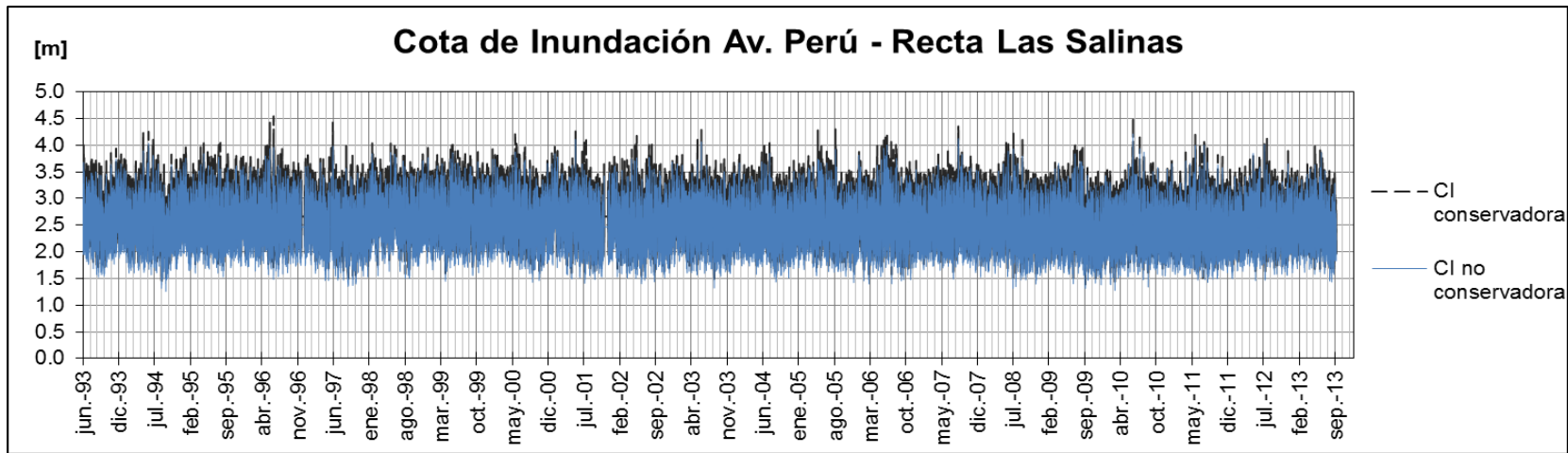
Las variables de niveles de mareas se dispusieron como señales temporales para el mismo período de oleaje con el que se calculó el *runup*, es decir, cada variable de la cota

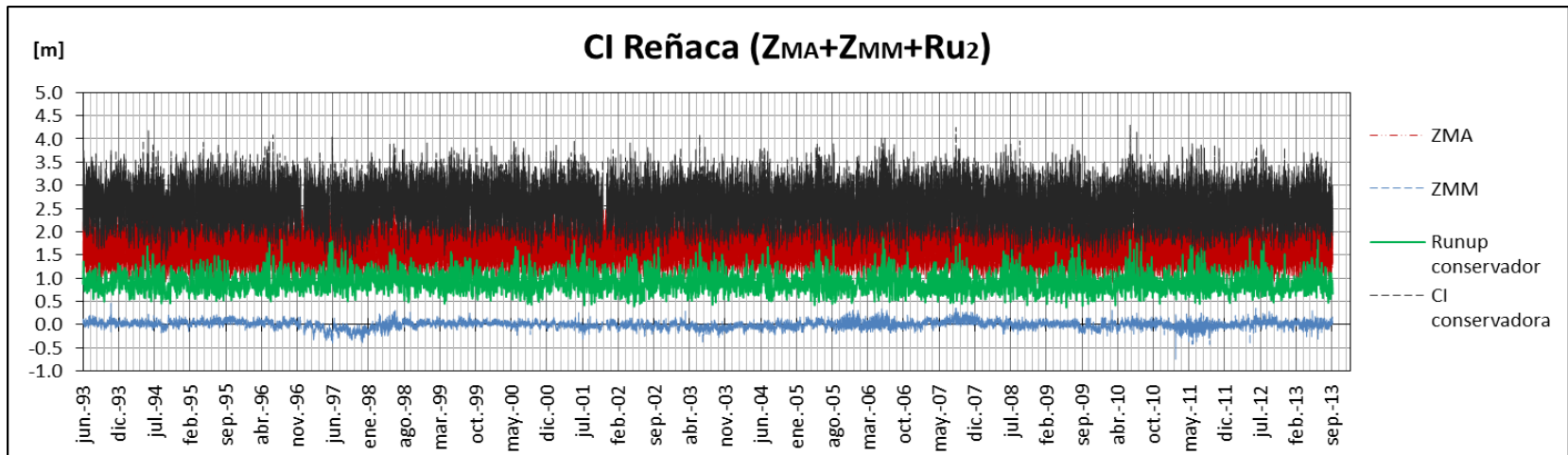
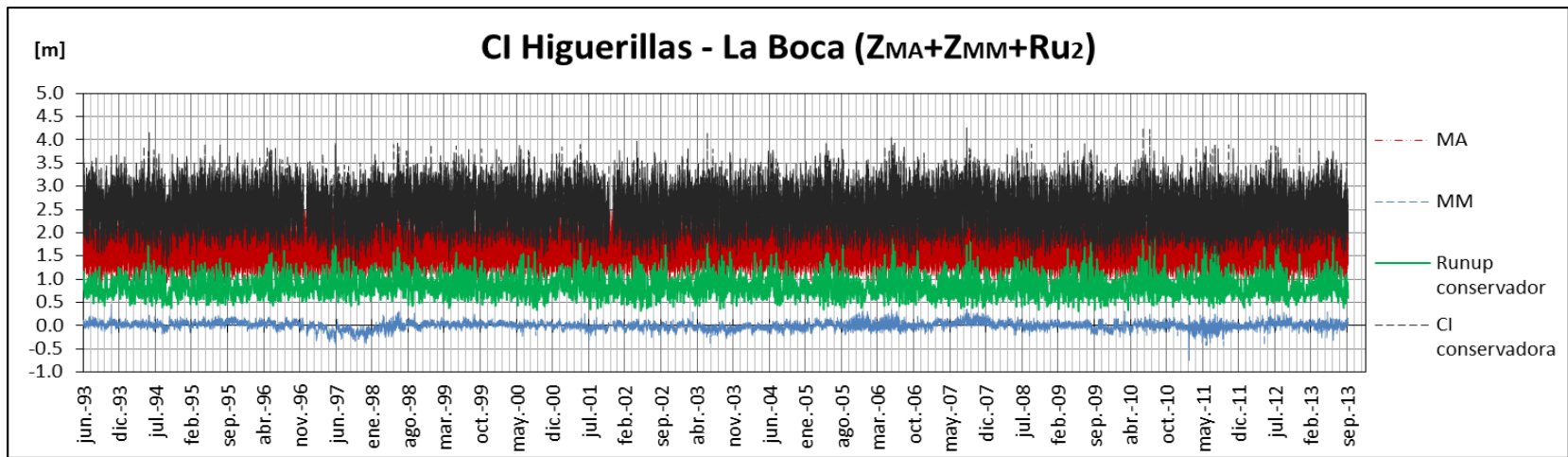
es una serie de tiempo a partir de 01-06-1993 a las 0:00 hrs. hasta el 30-09-2013 a las 18 hrs.

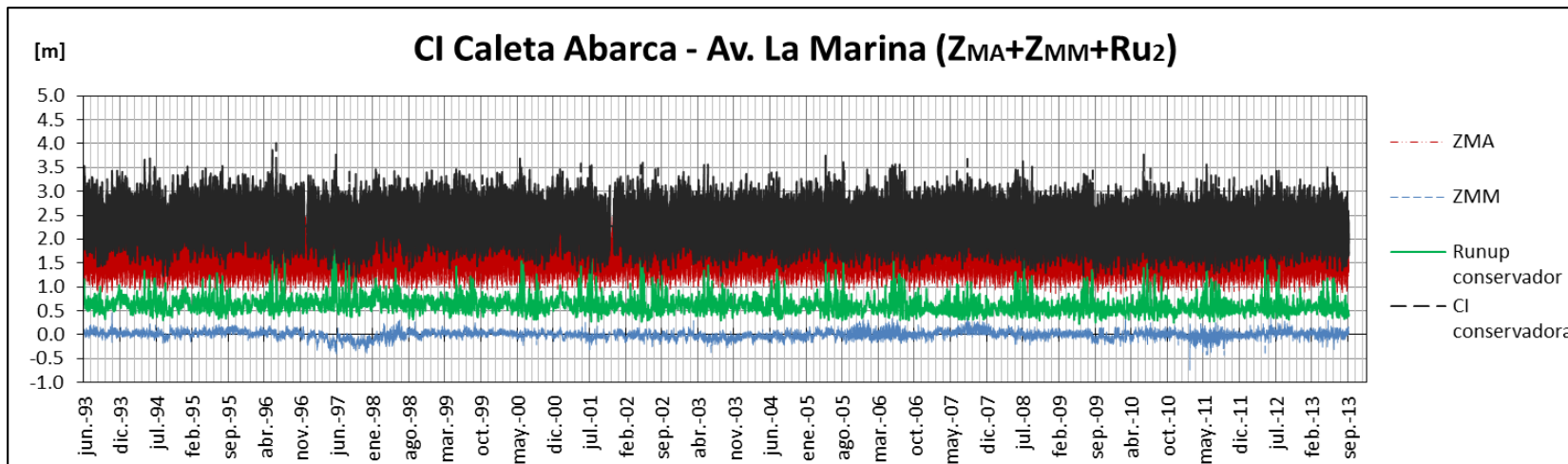
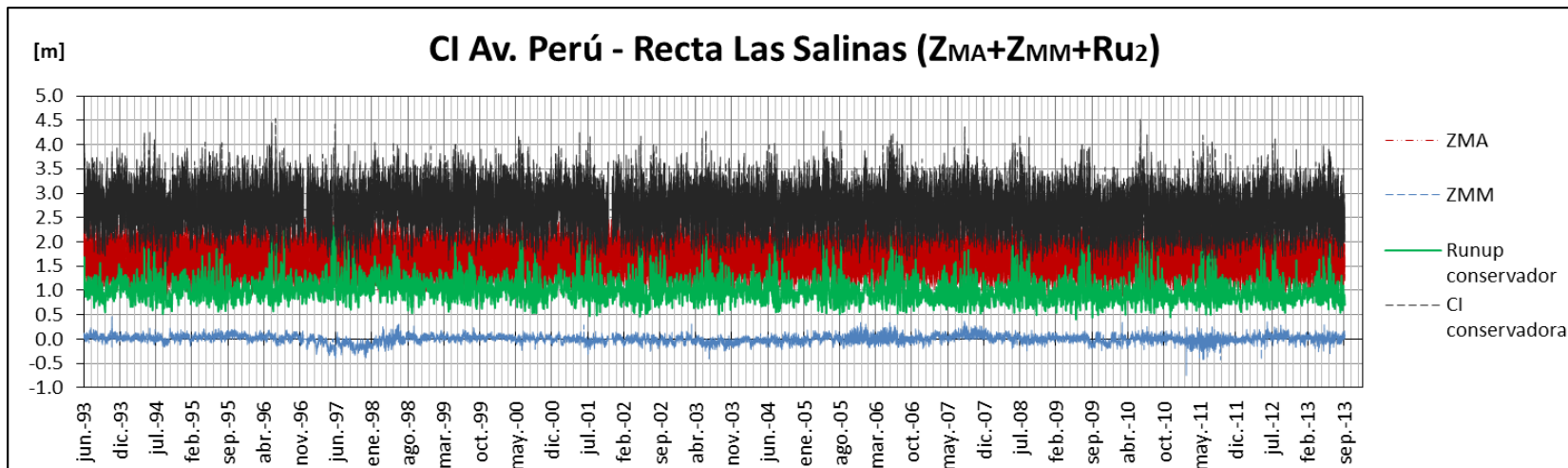
Para cada sitio de estudio se calculó una serie de tiempo de *runup*, por lo tanto cada sitio de estudio; Caleta Abarca - Av. La Marina, Av. Perú - Recta Las Salinas, Reñaca e Higuierillas - La Boca, tiene su serie de tiempo de cota de inundación. Los niveles de marea son constantes para los tres sitios de estudio, ya que esta depende geográficamente de la latitud.

A continuación se presentan las series de tiempo de las cotas de inundación para ambos casos del cálculo de *runup* y la superposición de las series de tiempo de todas las variables que componen la serie temporal de la cota de inundación *CI*.









Los niveles máximo, promedio y mínimo de toda la serie temporal para las variables de *runup* Ru_2 y cota de inundación CI se especifican en la Tabla 8-14.

Tabla 8-14: Niveles de *runup* y cota de inundación

Variable	Sitio de estudio	Niveles m		
		máx	promedio	mín
Ru_2	4. Higuierillas - La Boca	2.02	0.83	0.31
CI		4.27	2.49	1.27
Ru_2	3. Reñaca	1.91	0.90	0.37
CI		4.30	2.56	1.36
Ru_2	2. Av. Perú - Recta Las Salinas	2.39	1.00	0.40
CI		4.54	2.66	1.40
Ru_2	1. Caleta Abarca - Av. La Marina	1.78	0.61	0.22
CI		4.01	2.27	1.17

Los valores máximos de la cota de inundación para cada sitio de estudio, superan los 4.0 m sobre el nivel medio del mar (*NMM*). El nivel calle por donde transita el transporte terrestre tiene una cota aproximada de 5.0 m sobre *NMM* (SHOA, 2012).

En el análisis de clima extremo se consideraron sólo los resultados del caso conservador de la cota de inundación.

8.2.7 CLIMA EXTREMO

Como se menciona en la metodología, el estudio de clima extremo es aplicado a las cotas de inundación para la señal de tiempo que se construyó a partir de los niveles de MA , MM y Ru_2 .

El análisis estadístico de los datos fue realizado con el método de valores extremos anuales ($MVEA$) de la serie de tiempo de la cota de inundación CI .

En las páginas siguientes, se enseñan gráficamente las distribuciones de los datos máximos anuales de CI .

La probabilidad de ocurrencia de la amenaza para los sitios de estudio supera los 3.5 m de CI como mínimo, excepto para Caleta Abarca - Av. La Marina, sitio que se encuentra relativamente más lejana al nivel de la calle (5.0 m) respecto a las otras.

El caso más extremo en cuanto a la magnitud de la cota se dio en el sitio de Av. Perú - Recta Las Salinas, superando los 4.0 m de CI . Según la probabilidad de excedencia del mismo sitio de estudio, un 5 % de la data supera los 4.5 m, nivel que supera también a los otros sitios. Este valor refleja la altura que alcanza el nivel del mar en casos extremos para una data de 1993-2003. Situación que en los últimos años se ha intensificado probablemente por efectos del cambio climático. De acuerdo a este análisis, el riesgo más severo se da para el sitio de Av. Perú - Recta Las Salinas.

Según las curvas de nivel en la carta de inundación por tsunami (SHOA, 2012), el análisis y evaluación del riesgo para los sectores estudiados adoptan una relevancia importante, ya que el nivel calle de estos sitios es 5.0 m respecto al NMM .

Los resultados gráficos de períodos de retorno, se realizaron para los casos conservador y no conservador del cálculo de Ru_2 . Se aprecia que la diferencia entre ambos casos es de centímetros, manifestándose la mayor diferencia en los sitios de Reñaca y Av. Perú - Recta Las Salinas (Figura 8-9).

Probabilidades de Ocurrencia

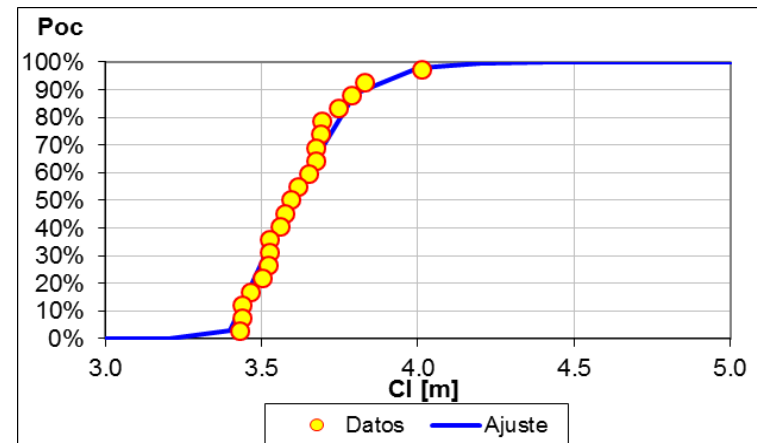
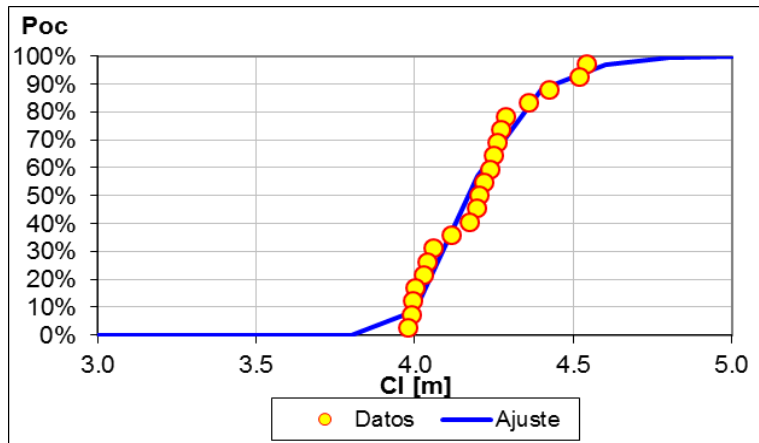
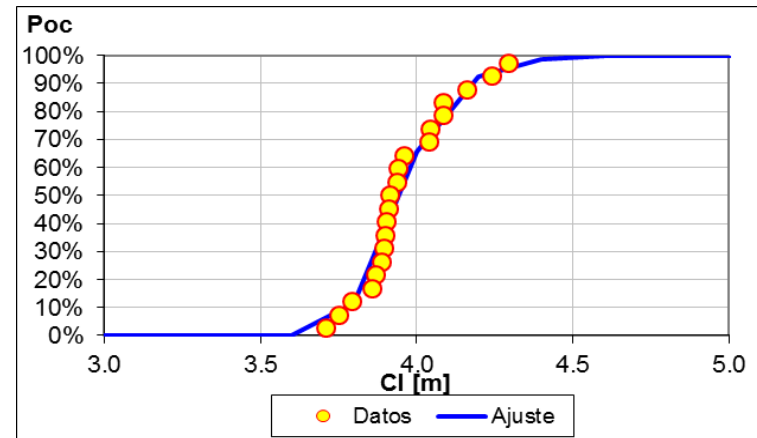
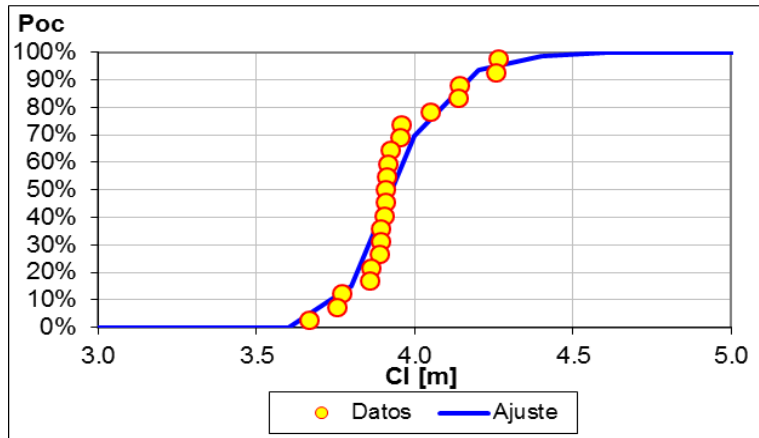
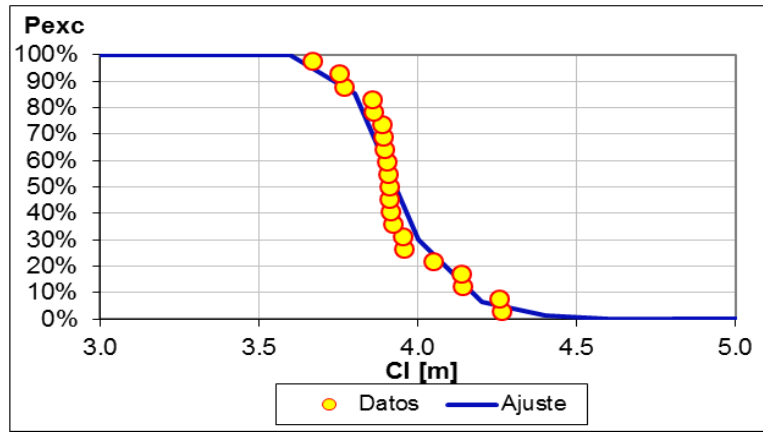
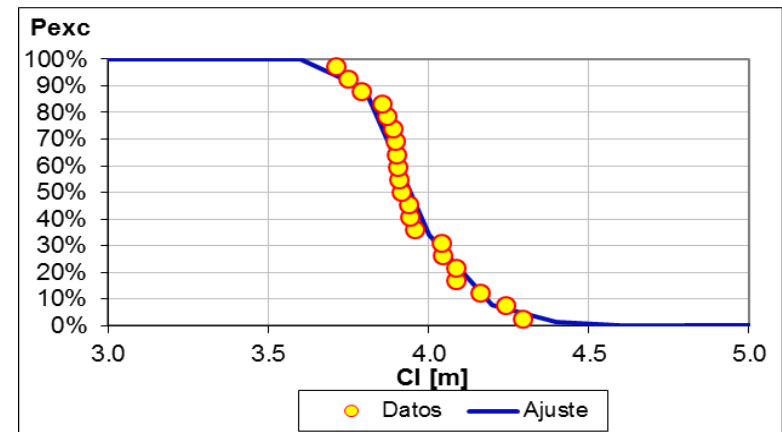


Figura 8-7: Curvas de probabilidad de ocurrencia correspondientes a cada sitio de estudio: (a) Higuierillas - La Boca, (b) Reñaca. (c) Av. Perú - Recta Las Salinas y (d) Caleta Abarca - Av. La Marina

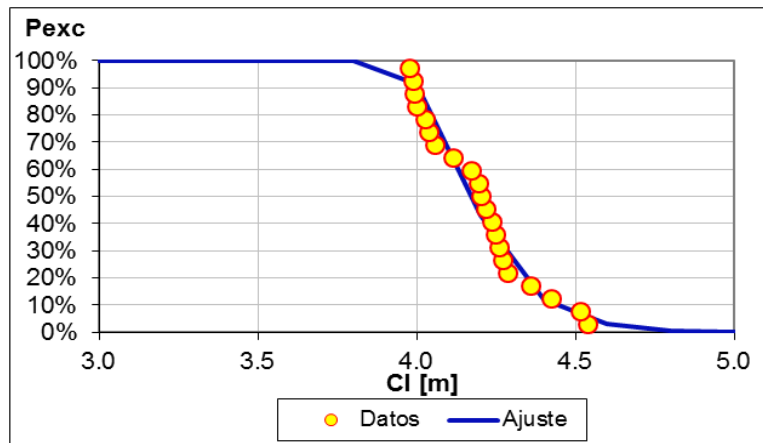
Probabilidades de Excedencia



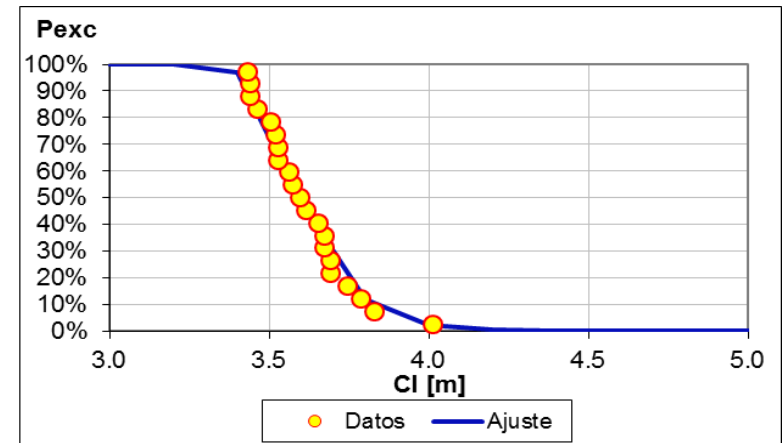
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 8-8: Curvas de probabilidad de excedencia correspondientes a cada sitio de estudio: (e) Higuierillas - La Boca, (f) Reñaca, (g) Av. Perú - Recta Las Salinas y (h) Caleta Abarca - Av. La Marina

Períodos de Retorno

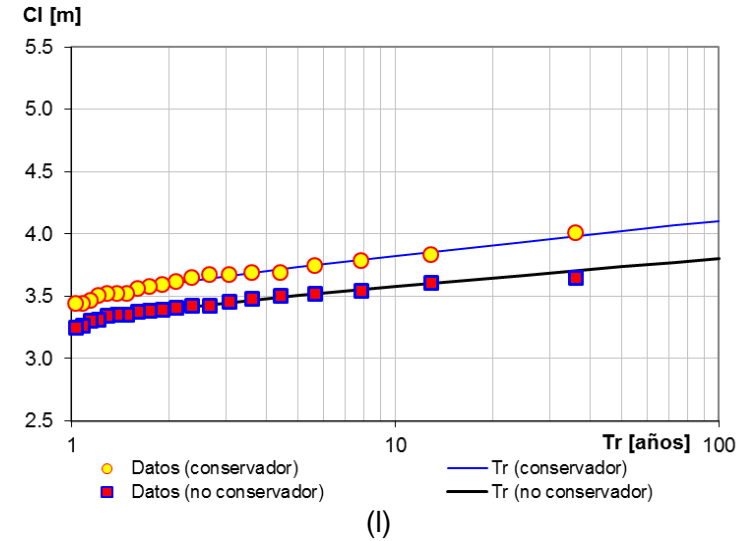
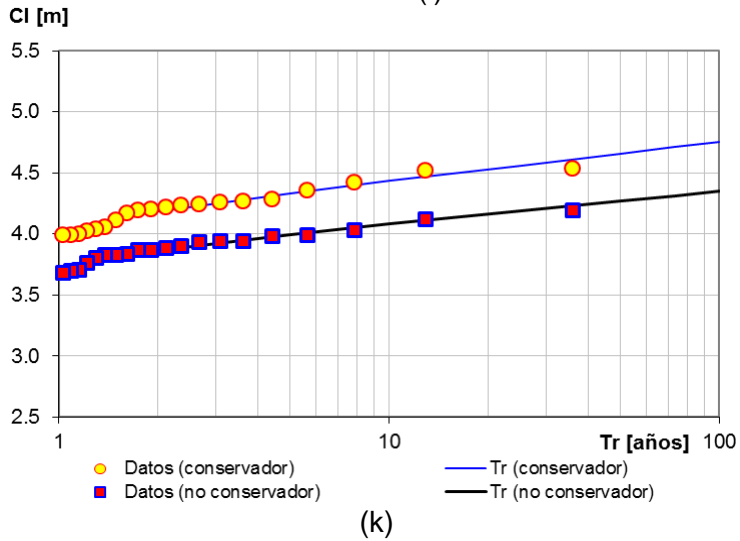
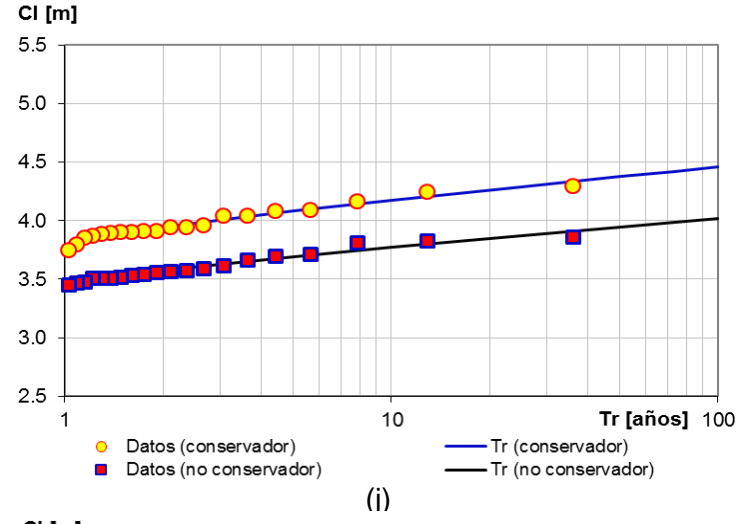
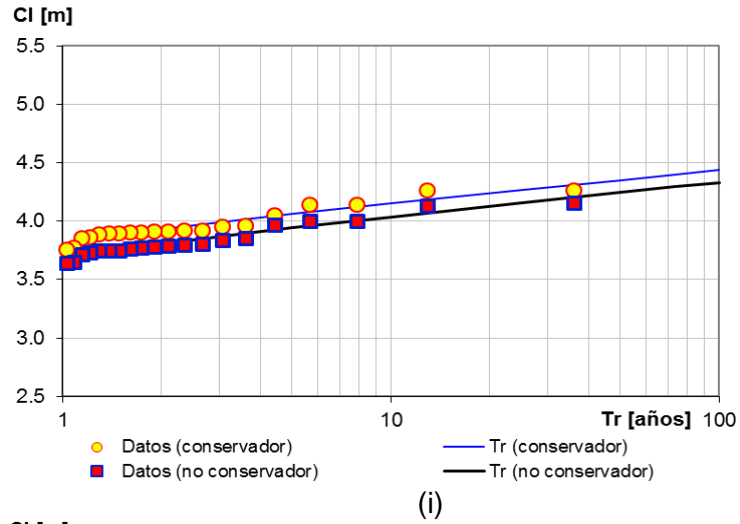


Figura 8-9: Tr v/s Cl (i) Higuierillas - La Boca, (j) Reñaca, (k) Av. Perú - Recta Las Salinas y (l) Caleta Abarca - Av. La Marina

Al estimarse una diferencia de aproximadamente 20 cm entre un caso y otro del cálculo de *runup*, todos los demás resultados se presentan para el caso conservador.

Los eventos de oleaje extremo revelan un comportamiento ascendente en el tiempo según antecedentes históricos (ver capítulo 8.3.2.1 del ANEXO N°3: ANTECEDENTES). Si consideramos las condiciones climáticas actuales y su pronóstico, estos fenómenos podrían presentarse cada vez más severos, con una mayor frecuencia y con alturas de oleaje cada vez más altos, lo que implica cotas de inundación también más altas.

El Fenómeno Niño, probablemente tuvo una fuerte influencia en los eventos a finales del año 2015 y principios del año 2016 como ocurrió también en los años 1997/98 (CIIFEN, 2015).

El análisis de clima extremo se basó en lo expuesto en el capítulo 3.1.1.4 y el capítulo 4.2.1 y los resultados gráficos se muestran en las páginas siguientes (Figura 8-10 y Figura 8-11).

Tendencia lineal en Ploteo Gumbel

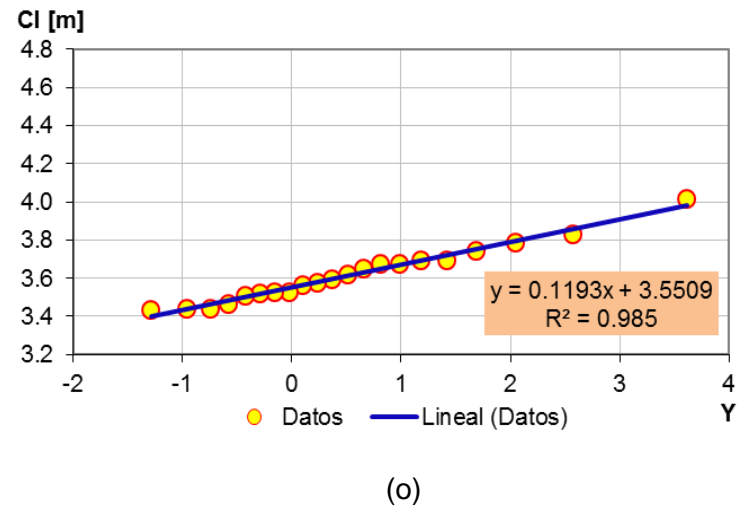
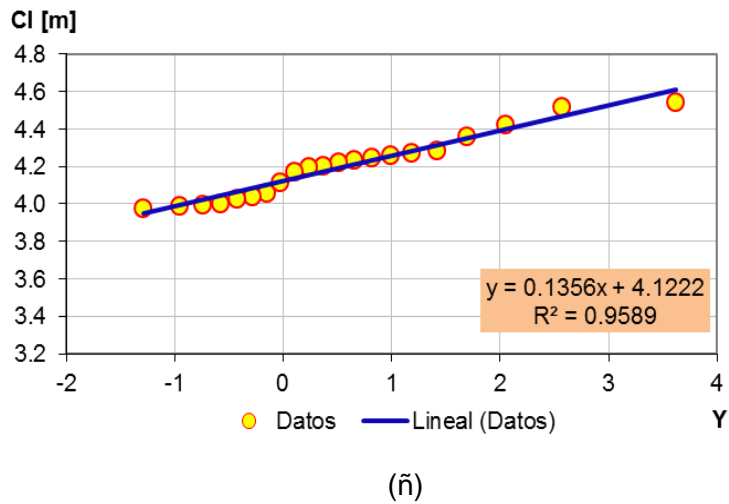
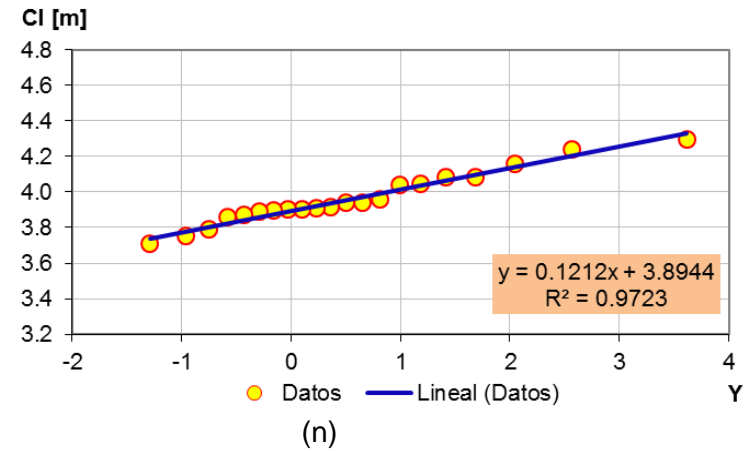
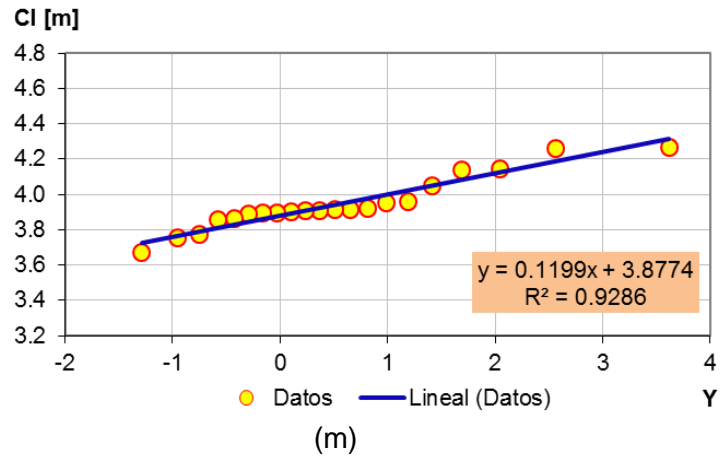


Figura 8-10: Distribución datos de CI y tendencia lineal de Ploteo Gumbel:
(m) Higuierillas - La Boca, (n) Reñaca, (ñ) Av. Perú - Recta Las Salinas y (o) Caleta Abarca - Av. La Marina

Ajuste y desviación estándar Probabilidad Gumbel

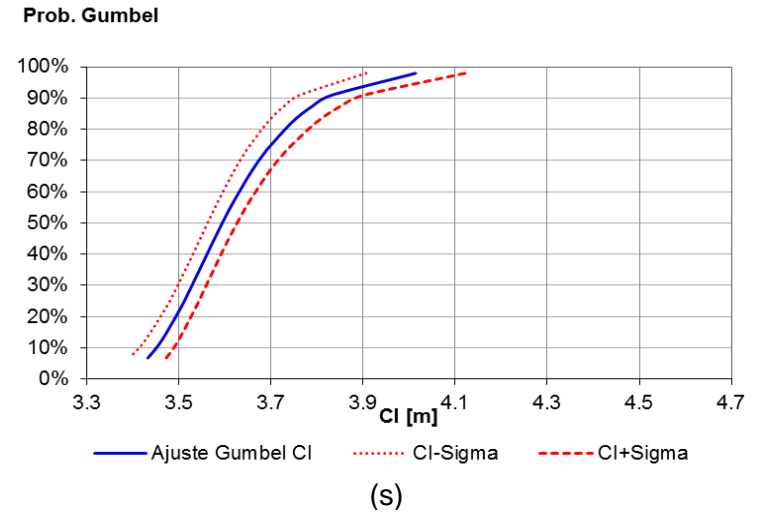
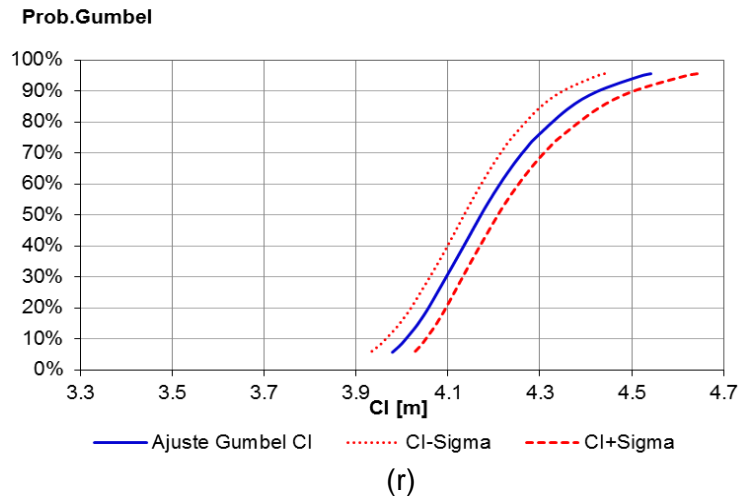
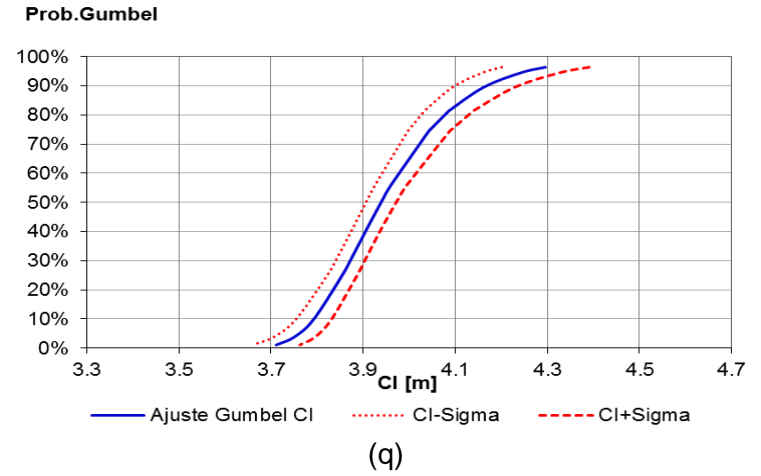
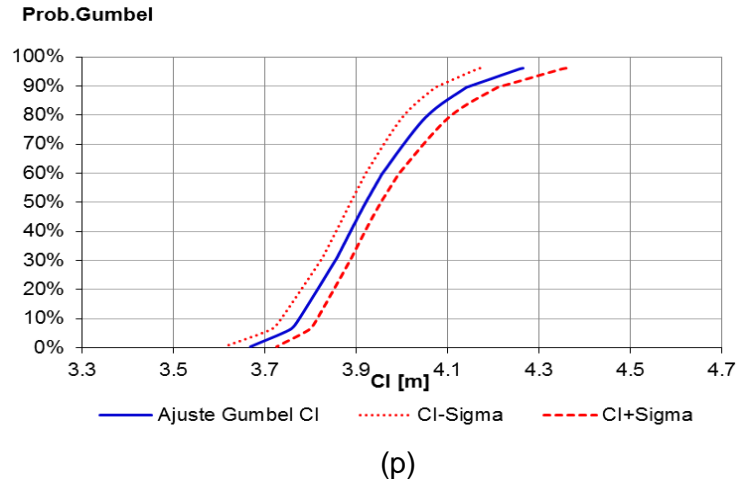


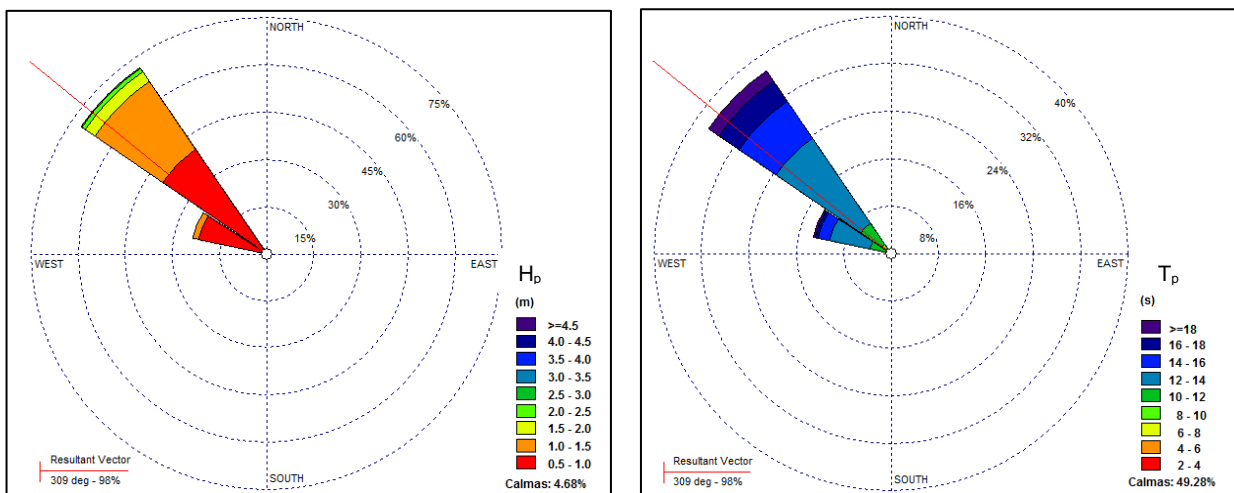
Figura 8-11: Ajuste y desviación estándar Probabilidad Gumbel:
 (p) Higerillas - La Boca, (q) Reñaca, (r) Av. Perú - Recta Las Salinas y (s) Caleta Abarca - Av. La Marina

8.2.8 CLIMA MEDIO EN SITIOS DE ESTUDIO

Producto de la propagación desde aguas profundas a cada sitio de interés se obtuvo lo siguiente como resultado del comportamiento del oleaje en el sector costero en cuestión.

Los resultados de la propagación se encuentran a 18 m de profundidad, condición para calcular el *runup*. El análisis de clima medio se realiza para los parámetros de resumen en cada sitio.

Sitio 1: Caleta Abarca - Av. La Marina



Claramente el oleaje predominante que afecta a Caleta Abarca es del NW con un 98% de incidencia desde los 309 °.

La mayor frecuencia de alturas y períodos de olas en Caleta abarca es de 0.5 a 1.0 m y de 12 a 14 s, respectivamente.

Tabla 8-15: Tabla incidencia Hp-Tp Sitio1, Caleta Abarca - Av. La Marina

H _p [m]	Tp [s]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24		
<0.5		0.04	0.37	2.20	3.58	1.06	0.89	0.09	0.01	0.00	8.24	8.24
0.5-1	0.05	0.18	1.34	9.96	33.00	10.92	7.46	0.66	0.13	0.08	63.77	72.01
1-1.5	0.08	0.26	0.45	1.95	10.48	6.12	3.83	0.26	0.06	0.04	23.53	95.55
1.5-2	0.01	0.27	0.26	0.47	0.80	0.69	0.65	0.03			3.18	98.72
2-2.5		0.14	0.16	0.21	0.15	0.10	0.12				0.88	99.60
2.5-3		0.03	0.11	0.06	0.04	0.02					0.26	99.86
3-3.5			0.09	0.01	0.01						0.12	99.98
3.5-4			0.01								0.02	100.00
4-4.5											0.00	100.00
Total frec. relativa	0.14	0.91	2.80	14.87	48.06	18.90	12.95	1.05	0.20	0.12	100.00	
Total frec. acumulada	0.14	1.04	3.84	18.71	66.77	85.67	98.63	99.67	99.88	100.00		

Si bien el rango de altura de ola de 3.5 a 4.0 m posee una muy baja frecuencia, es importante destacarlo debido a que se presenta para el oleaje proveniente directamente del NW, dirección incidente de alto riesgo para el sector de Caleta Abarca.

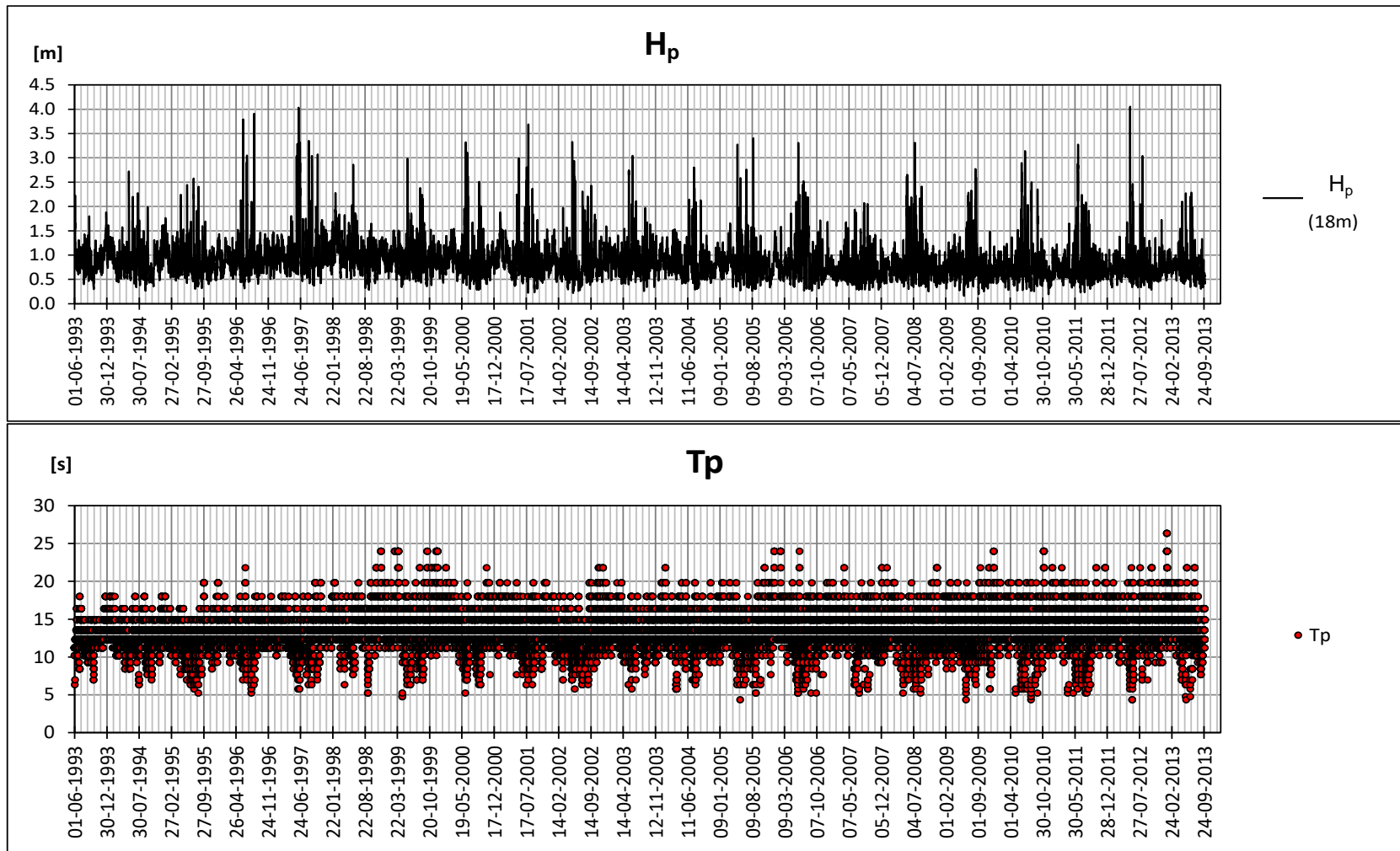
Tabla 8-16: Tabla incidencia Hp-Dp Sitio 1, Caleta Abarca - Av. La Marina

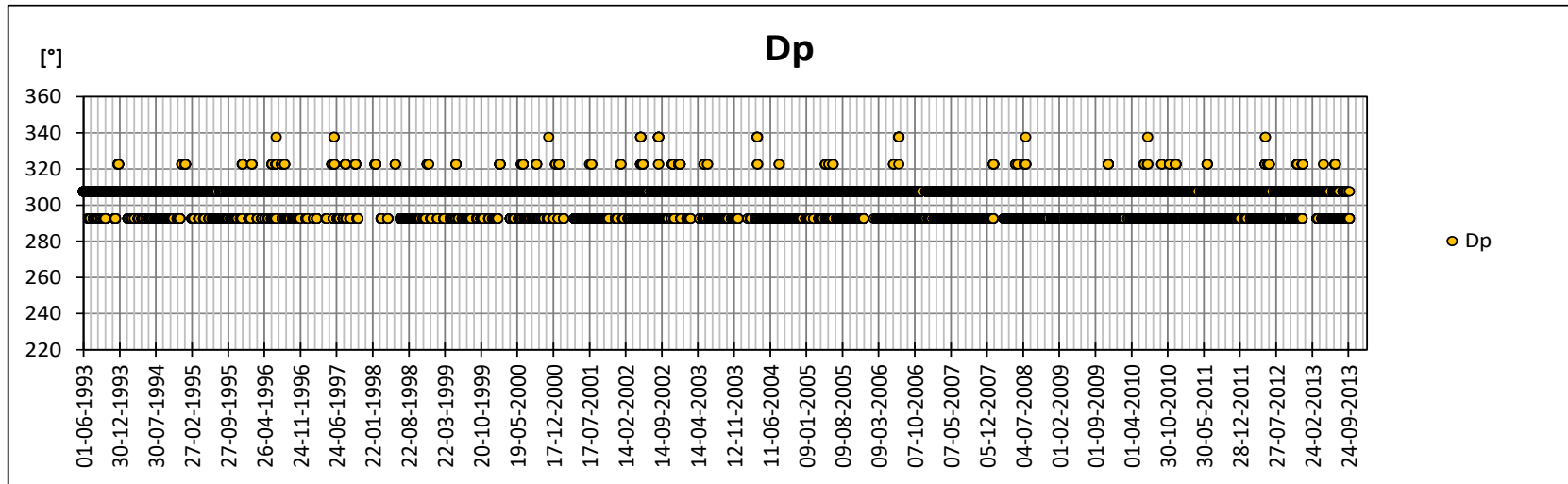
H H _p [m]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
<0.5			4.82	3.42		8.24	8.24
0.5-1			20.79	42.98		63.77	72.01
1-1.5			1.16	22.36	0.01	23.53	95.55
1.5-2			0.01	3.14	0.02	3.18	98.72
2-2.5				0.87	0.01	0.88	99.60
2.5-3				0.26	0.00	0.26	99.86
3-3.5				0.11	0.01	0.12	99.98
3.5-4				0.02		0.02	100.00
4-4.5						0.00	100.00
Total frec. relativa	0.00	0.00	26.78	73.16	0.06	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	0.00	26.78	99.94	100.00		

El período también es relevante, ya que establece cuán alta podría llegar a ser la ola cuando esta alcance su rotura. Para este caso, períodos bajos y altos se manifiestan desde el cuarto cuadrante.

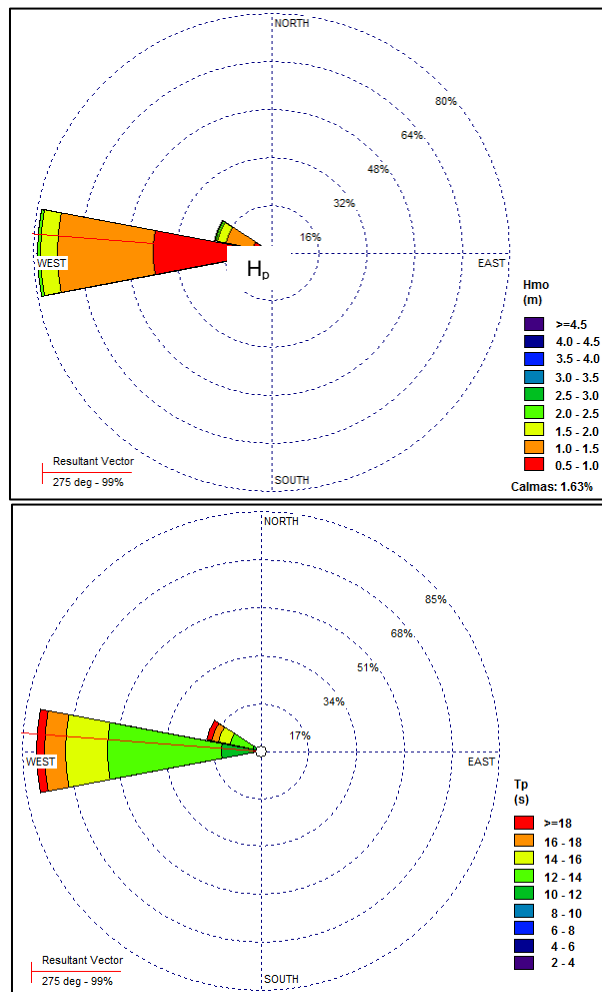
Tabla 8-17: Tabla incidencia Tp-Dp Sitio 1, Caleta Abarca - Av. La Marina

Tp [s]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
4-6			0.03	0.11	0.01	0.14	0.14
6-8			0.19	0.68	0.04	0.91	1.04
8-10			0.94	1.84	0.01	2.80	3.84
10-12			6.45	8.42		14.87	18.71
12-14			13.73	34.33		48.06	66.77
14-16			3.75	15.15		18.90	85.67
16-18			1.59	11.36		12.95	98.63
18-20			0.09	0.95		1.05	99.67
20-22			0.01	0.20		0.20	99.88
22-24				0.12		0.12	100.00
Total frec. relativa	0.00	0.00	26.78	73.16	0.06	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	0.00	26.78	99.94	100.00		





Sitio 2: Av. Perú - Recta Las Salinas



T₀

Como se ilustra en las rosas, el oleaje para el sector costero de Av. Perú - Recta Las Salinas proviene mayoritariamente del Oeste con alturas de ola entre 0.5 y 1.5 m y períodos de 12 a 16 s con mayor frecuencia.

Es notoria la diferencia direccional en que incide el oleaje para este sitio y Caleta Abarca - Av. La Marina debido a que Av. Perú - Recta Las Salinas posee una extensión de playa mucho más amplia, la cual permite que los frentes del oleaje se ordenen paralelamente a la línea de costa.

Tabla 8-18: Tabla incidencia Hp-Tp Sitio 2, Av. Perú - Recta Las Salinas

Hp [m]	Tp [s]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24		
<0.5		0.01	0.13	1.00	1.11	0.35	0.35	0.04	0.01		2.99	2.99
0.5-1	0.02	0.10	1.20	9.73	26.51	7.31	5.34	0.52	0.09	0.06	50.88	53.88
1-1.5	0.04	0.16	0.42	2.87	18.31	9.33	5.49	0.33	0.07	0.04	37.06	90.93
1.5-2	0.01	0.19	0.24	0.75	2.04	2.00	1.67	0.08			6.99	97.93
2-2.5		0.12	0.17	0.29	0.30	0.29	0.30	0.01			1.49	99.41
2.5-3		0.03	0.12	0.09	0.06	0.05	0.08				0.43	99.84
3-3.5			0.05	0.02	0.02	0.02	0.01				0.13	99.97
3.5-4			0.01	0.01							0.03	100.00
Total frec. relativa	0.07	0.62	2.34	14.75	48.36	19.35	13.24	0.99	0.17	0.11	100	
Total frec. acumulada	0.07	0.69	3.03	17.78	66.14	85.48	98.73	99.71	99.88	100.00		

Se destaca de igual manera, las olas entre 3.5 y 4.0 m, ya que son las que inciden desde el W y el N. Se consideran períodos desde los 10 a 16 s con mayor frecuencia y también los más altos (16-20 s) menos frecuentes.

Tabla 8-19: Tabla incidencia Hp-Dp Sitio 2, Av. Perú - Recta Las Salinas

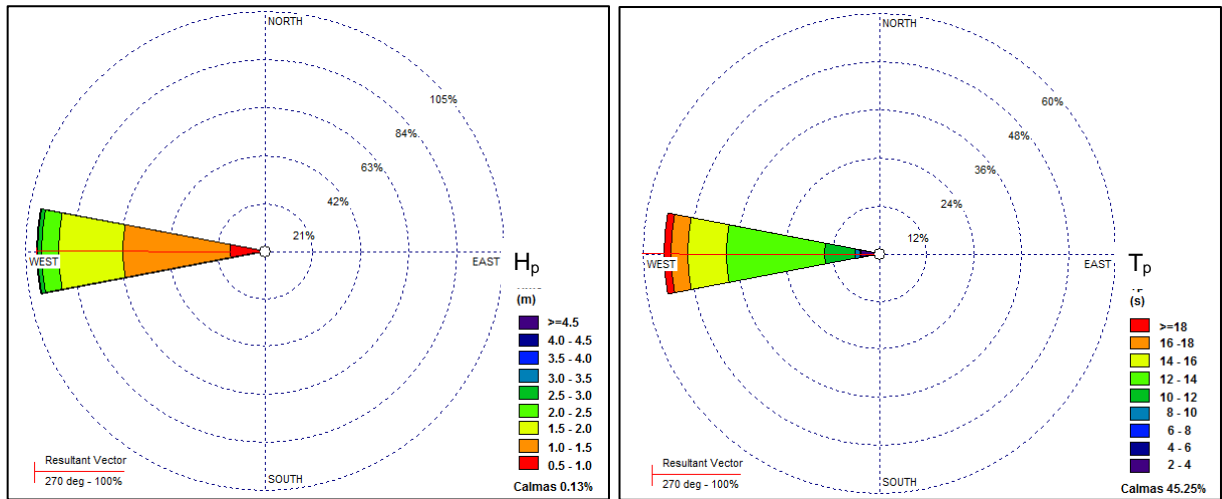
Hp [m]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
<0.5		2.76	0.24	0.00		2.99	2.99
0.5-1		43.25	7.63	0.00		50.88	53.88
1-1.5		28.56	8.47	0.02	0.01	37.06	90.93
1.5-2		4.46	2.48	0.05		6.99	97.93
2-2.5		0.70	0.73	0.06		1.49	99.41
2.5-3		0.12	0.25	0.06		0.43	99.84
3-3.5		0.01	0.08	0.04		0.13	99.97
3.5-4			0.01	0.01		0.03	100.00
Total frec. relativa	0.00	79.86	19.90	0.24	0.01	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	79.86	99.76	99.99	100.00		

Tabla 8-20: Tabla incidencia Tp-Dp Sitio 2, Av. Perú - Recta Las Salinas

Tp [s]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
4-6		0.04	0.02	0.00	0.00	0.07	0.07
6-8		0.23	0.30	0.08	0.00	0.62	0.69
8-10		1.53	0.67	0.14		2.34	3.03
10-12		12.39	2.35	0.01		14.75	17.78
12-14		40.21	8.14			48.36	66.14
14-16		15.19	4.16			19.35	85.48
16-18		9.61	3.63			13.24	98.73
18-20		0.51	0.48			0.99	99.71
20-22		0.10	0.07			0.17	99.88
22-24		0.04	0.07			0.11	100.00
Total frec. relativa	0.00	79.86	19.90	0.24	0.01	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	79.86	99.76	99.99	100.00		

De la misma forma se disponen gráficamente las distribuciones temporales para altura de ola, período peak y dirección del oleaje en este sitio y los siguientes.

Nodo3: Reñaca



Reñaca posee un comportamiento similar al de Recta Las Salinas en cuanto a la dirección de incidencia del oleaje, del Oeste (W) en su totalidad. Las alturas y períodos más frecuentes se encuentran entre 1.0 y 2.0 m y entre 12 y 16 s.

Tabla 8-21: Tabla incidencia Hp-Tp Sitio 3, Reñaca

H _p [m]	T _p [s]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada	
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24			
<0.5			0.01	0.11	0.11	0.04	0.04					0.32	0.32
0.5-1	0.01	0.17	0.80	5.39	9.19	2.10	1.56	0.11	0.03	0.03		19.38	19.70
1-1.5	0.01	0.17	1.34	7.69	26.14	6.90	3.85	0.24	0.05	0.03		46.42	66.13
1.5-2	0.01	0.13	0.23	1.78	11.89	7.92	3.65	0.13	0.01			25.75	91.88
2-2.5		0.05	0.19	0.43	1.71	1.94	1.82	0.06				6.21	98.09
2.5-3		0.02	0.14	0.15	0.33	0.37	0.43	0.02				1.46	99.55
3-3.5		0.00	0.05	0.03	0.05	0.07	0.15					0.35	99.89
3.5-4			0.02	0.01	0.02	0.03	0.03					0.10	100.00
4-4.5												0.00	100.00
Total frec. relativa	0.02	0.53	2.78	15.60	49.45	19.37	11.54	0.55	0.09	0.07		100.00	
Total frec. acumulada	0.02	0.56	3.34	18.94	68.38	87.75	99.29	99.84	99.93	100.00			

Tabla 8-22: Tabla incidencia Hp-Dp Sitio 3, Reñaca

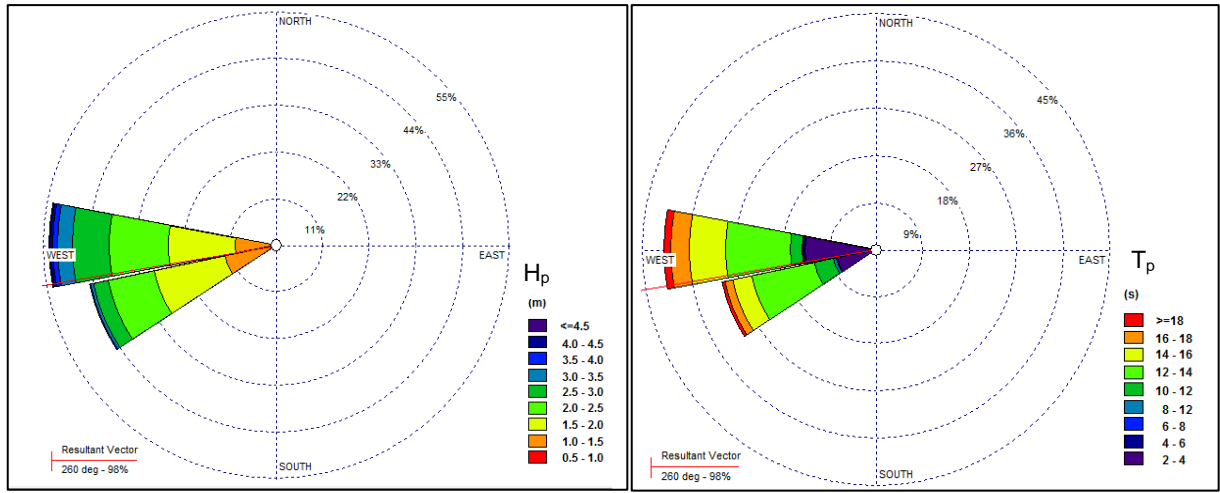
H _p [m]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
<0.5		0.32				0.32	0.32
0.5-1		19.38				19.38	19.70
1-1.5		46.42	0.01			46.42	66.13
1.5-2		25.72	0.01	0.02		25.75	91.88
2-2.5		6.14	0.02	0.04		6.21	98.09
2.5-3		1.39	0.04	0.03		1.46	99.55
3-3.5		0.32	0.02	0.01		0.35	99.89
3.5-4		0.09	0.01			0.10	100.00
4-4.5		0.00				0.00	100.00
Total frec. relativa	0.00	99.78	0.11	0.11	0.00	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	99.78	99.89	100.00	100.00		

Se destacan alturas entre 3.5 y 4.0 m con períodos entre 14 y 20 s y una incidencia casi en su totalidad desde el W con una mínima ocurrencia de casos desde el NW.

Tabla 8-23: Tabla incidencia Tp-Dp Sitio 3, Reñaca

Tp [s]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
4-6		0.02				0.02	0.02
6-8		0.49		0.04		0.53	0.56
8-10		2.64	0.08	0.06		2.78	3.34
10-12		15.57	0.03			15.60	18.94
12-14		49.45				49.45	68.38
14-16		19.37				19.37	87.75
16-18		11.54				11.54	99.29
18-20		0.55				0.55	99.84
20-22		0.09				0.09	99.93
22-24		0.07				0.07	100.00
Total frec. relativa	0.00	99.78	0.11	0.11	0.00	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	99.78	99.89	100.00	100.00		

Sitio 4: Higuerrillas - La Boca



Para el caso de La Boca en Concón la incidencia del oleaje, a diferencia de los otros sitios de estudio, en parte proviene de más al Sur debido a que el fenómeno de Refracción no se ha desarrollado totalmente. Esto se debe a la presencia geográfica de la Punta de Concón perteneciente al sector de La Barca.

Las alturas y períodos de ola más frecuentes son de 1.5 a 3.0 m y de 12 a 16 s, respectivamente.

Tabla 8-24: Tabla incidencia Hp-Tp Sitio 4, Higuierillas - La Boca

H _p [m]	Tp [s]										Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24		
<0.5						0.01					0.01	0.01
0.5-1		0.01	0.12	1.18	1.46	0.39	0.44	0.04			3.64	3.65
1-1.5		0.17	0.58	4.57	11.95	2.71	1.96	0.16	0.03	0.04	22.18	25.83
1.5-2		0.10	0.66	4.10	19.50	4.97	3.10	0.23	0.05	0.03	32.75	58.58
2-2.5		0.04	0.19	1.58	12.23	6.67	3.06	0.17	0.02	0.02	23.96	82.54
2.5-3		0.02	0.08	0.48	3.51	4.67	2.51	0.08	0.01		11.36	93.91
3-3.5			0.08	0.16	0.82	1.44	1.51	0.04			4.05	97.95
3.5-4			0.05	0.05	0.21	0.38	0.62	0.03			1.34	99.29
4-4.5			0.02	0.01	0.06	0.12	0.25				0.47	99.76
4.5-5					0.01	0.05	0.10				0.17	99.92
5-5.5						0.02	0.04				0.06	99.98
5.5-6							0.01				0.01	100.00
Total frec. relativa	0.00	0.35	1.77	12.12	49.76	21.43	13.60	0.76	0.11	0.10	100.00	
Total frec. acumulada	0.00	0.35	2.12	14.23	63.99	85.43	99.03	99.79	99.90	100.00		

Aunque poco frecuentes, es importante destacar alturas de 4.0 a 6.0 m con una dirección incidente mayoritariamente del Oeste (W) seguida del Oeste-Sur-Oeste (WSW) y Oeste-Nor-Oeste (WNW).

Tabla 8-25: Tabla incidencia Hp-Dp Sitio 4, Higuierillas - La Boca

H _p [m]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
<0.5	0.01					0.01	0.01
0.5-1	2.12	1.48	0.03			3.64	3.65
1-1.5	12.13	9.81	0.24			22.18	25.83
1.5-2	16.76	15.64	0.31	0.03	0.01	32.75	58.58
2-2.5	10.09	13.48	0.32	0.07		23.96	82.54
2.5-3	3.11	7.99	0.19	0.08		11.36	93.91
3-3.5	0.66	3.19	0.10	0.09		4.05	97.95
3.5-4	0.08	1.16	0.02	0.07		1.34	99.29
4-4.5		0.43	0.01	0.03		0.47	99.76
4.5-5		0.16				0.17	99.92
5-5.5		0.06				0.06	99.98
5.5-6		0.01				0.01	100.00
Total frec. relativa	44.97	53.42	1.23	0.38	0.01	100.00	
Total frec. acumulada	44.97	98.39	99.61	99.99	100.00		

Tabla 8-26: Tabla incidencia Tp-Dp Sitio 4, Higuerrillas - La Boca

Tp [s]	Dp [°]					Total frec. relativa	Total frec. acumulada
	230-255	255-280	280-305	305-330	330-355		
4-6						0.00	0.00
6-8	0.24	0.04	0.01	0.05		0.35	0.35
8-10	1.13	0.40	0.05	0.19		1.77	2.12
10-12	7.54	4.35	0.12	0.11		12.12	14.23
12-14	24.60	24.94	0.19	0.02	0.01	49.76	63.99
14-16	7.28	13.91	0.23	0.01		21.43	85.43
16-18	3.90	9.19	0.51			13.60	99.03
18-20	0.20	0.49	0.07			0.76	99.79
20-22	0.03	0.06	0.02			0.11	99.90
22-24	0.04	0.03	0.02			0.10	100.00
Total frec. relativa	44.97	53.42	1.23	0.38	0.01	100.00	
Total frec. acumulada	44.97	98.39	99.61	99.99	100.00		

8.3 ANEXO N°3: ANTECEDENTES

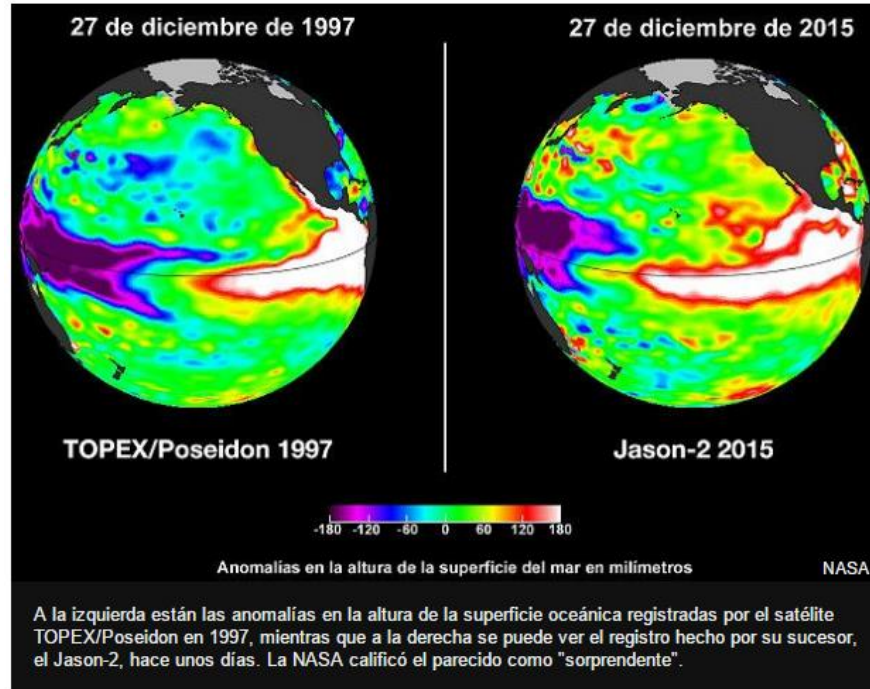
8.3.1 FENÓMENO DEL NIÑO

Mundo Noticias (2015) informa que hay al menos tres poderosas razones para creer que el evento actual del Fenómeno del Niño es tan grande y poderoso como el considerado peor de la historia, el de 1997 y 1998. El experto de la NASA, William Patzert, asegura que no hay duda que el fenómeno de 2015-2016 es muy similar a los de 1982-1983 y 1997-1998 de mayor impacto en el siglo anterior.

1. Los océanos crecidos.

Las alturas son muy superiores a las usuales en el nivel del océano Pacífico, siendo un indicador de la existencia de una capa gruesa de agua caliente (Figura 8-12).

El agua caliente y tibia que se ha acumulado en la zona es lo que atrae los nubarrones y las tormentas que se han producido en parte de América Latina, fundamentalmente en países por debajo la línea del Ecuador.



**Figura 8-12: Similitud en las anomalías de altura registradas en diciembre de 1997 y 2015.
(Mundo Noticias, 2015)**

Otra consecuencia de esto es el bajo nivel de lluvias en el sudeste asiático, lo cual contribuyó a la multiplicación de grandes incendios que han cubierto de humo a la región desde hace unas semanas.

Por otro lado, el calor en la región del Pacífico en 1997 fue uno de los fenómenos climáticos que generó inundaciones vistas pocas veces antes en países como Bolivia, Paraguay, Perú, Argentina y Brasil en aquel año y el siguiente.

Las similitudes en la temperatura oceánica en ambos períodos también tiene notables parecidos (Figura 8-13). La similitud de calor en los mares atrae nubes y multiplica las tormentas, como sucedió en América Latina y en la actualidad.

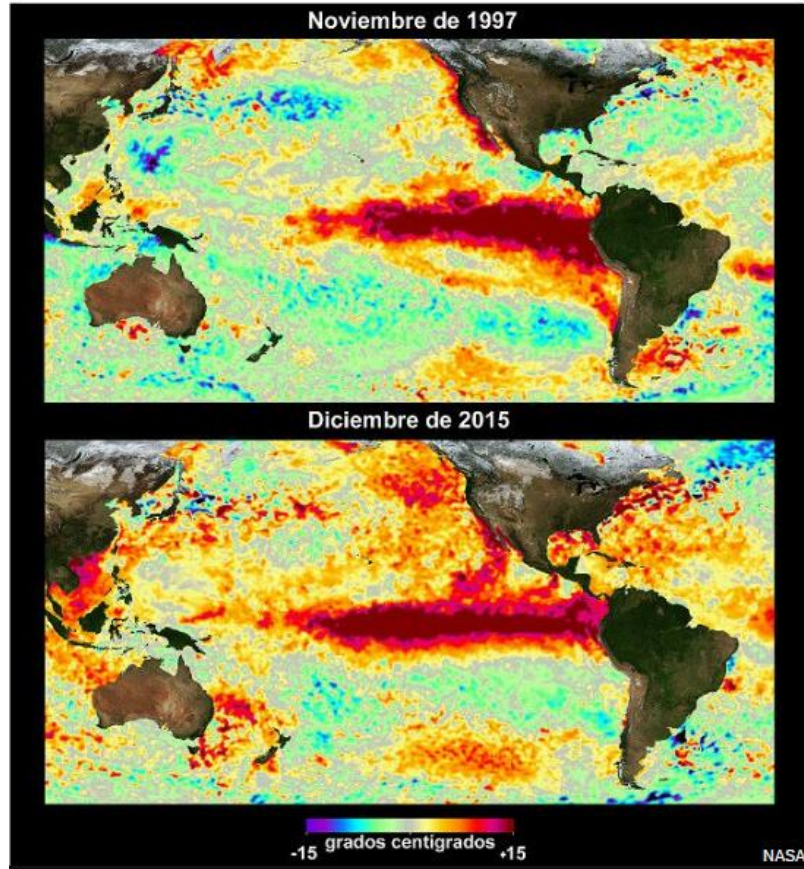


Figura 8-13: Anomalías en la superficie del océano. (Mundo Noticias, 2015)

2. No disminuye.

El Niño es un fenómeno natural que ocurre cada dos a siete años cuando las aguas cálidas de la región central del océano Pacífico se expanden hacia el este, acercándose a las costas de América.

Normalmente alcanza su momento más agudo a finales de año pero sus efectos se sienten a lo largo de la primavera del hemisferio norte y pueden durar hasta los 12 meses siguientes. Sin embargo, la NASA señaló que el fenómeno actual no mostró signos de disiparse.

3. Altas temperaturas.

Patzert explicó a BBC Mundo que el calentamiento global que actualmente atraviesa el planeta es un factor nuevo que influye en los efectos y la naturaleza del fenómeno de El Niño.

"El planeta está más caliente ahora, eso es un hecho importante (Figura 8-14). Un planeta más caliente genera consecuencias más peligrosas, eventos más extremos", precisó el analista de la NASA. Numerosos estudios señalaron que el cambio climático puede agudizar temperaturas extremas en períodos como el fenómeno de El Niño o La Niña.

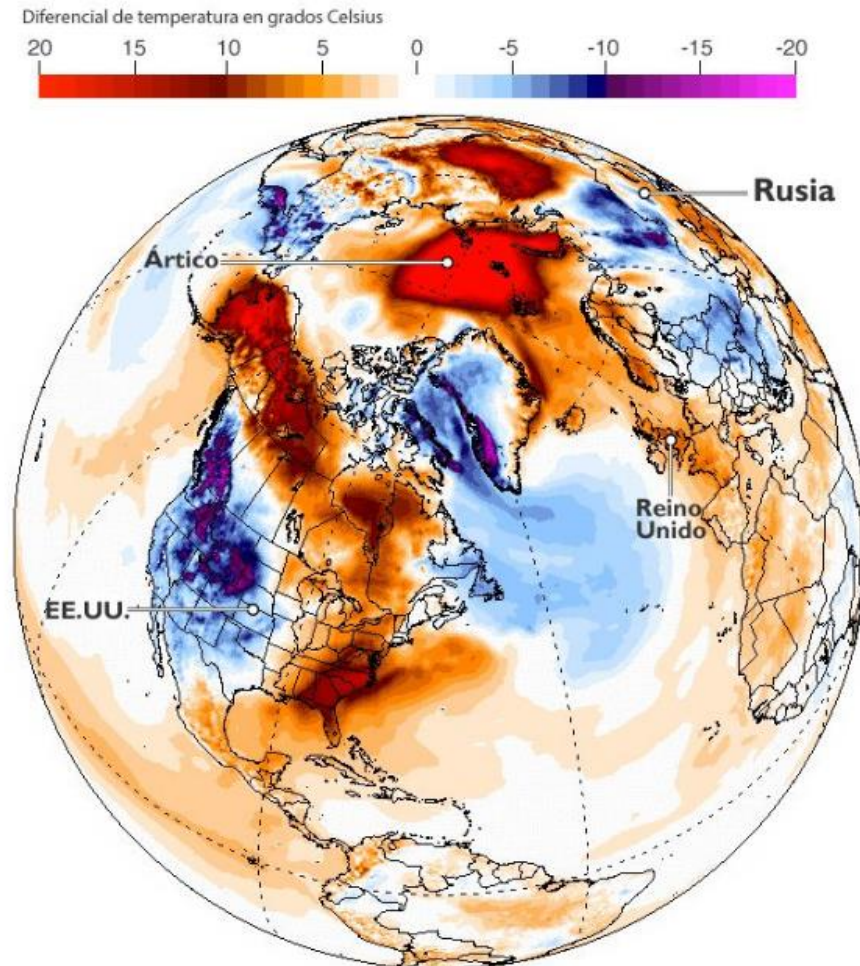


Figura 8-14: Diferencia en la temperatura prevista para el 30 de diciembre de 2015 con la media de 1979 a 2000. (Mundo Noticias, 2015)

Patzert precisó que los efectos del fenómeno de El Niño se sentirían en Estados Unidos entre enero y marzo de 2016. Actualmente se están registrando temperaturas mucho más altas de lo habitual en el hemisferio norte. El día de Navidad, en Francia, se registró un récord histórico sólo por debajo del de 1997. E incluso en el Polo Norte, donde el 30 de diciembre de 2015 se estimó que la temperatura estuvo por encima de los 0 grados Celsius, cuando lo normal son -25 °C.

En contraste, en México, El Niño parece el responsable de unas inusuales tormentas que han cubierto de nieve el norte del país. Hay nieve en partes de Sonora por primera vez en 33 años. En Sudamérica y Centroamérica, señala el investigador, los efectos ya se han visto con las grandes inundaciones de diciembre de 2015 y los próximos tres meses.

El científico señaló además que a pesar de los pronósticos, existe mayor infraestructura y avances científicos para tomar previsiones cada vez mejores ante la llegada del fenómeno climático. Sin embargo, lo más probable es que las consecuencias de El Niño se prolonguen durante la mayor parte del próximo año (2016) en forma de inundaciones, epidemias o sequía prolongada. Fundamentalmente en Sudamérica (Mundo Noticias, 2015).

8.3.2 OTROS ANTECEDENTES

Los antecedentes históricos referentes a eventos de oleaje extremo son abundantes. Desde artículos de prensa, investigaciones científicas y estudios relacionados, entre otros, operan como fuente de información para el análisis de riesgo.

8.3.2.1 Prensa

Históricamente, los eventos de marejadas se remontan a lo ocurrido en Junio de 1924 y 1968 según un estudio publicado en 1979 por José Araya Vergara, geógrafo de la U. de Chile, donde se menciona que las consecuencias fueron similares a las marejadas del año 2015 en la V Región (Las Últimas Noticias, 2015).



Figura 8-15: Playa en Viña del Mar a la altura de 8 Norte, Agosto 2015. (Las Últimas Noticias, 2015)

La Dra. Carolina Martínez de la U. de Barcelona y experta en evolución costera dice que “los daños que provocan estas marejadas están estrechamente relacionados con la intervención del hombre. La urbanización costera le quita espacio a la playa y anula la acción de los disipadores naturales de la energía de las olas” (Las Últimas Noticias, 2015).

Entre otros antecedentes, cabe destacar las entrevistas realizadas a los académicos de Ingeniería Civil Oceánica, quienes han dado a conocer en aulas, seminarios y públicamente, el comportamiento del océano. Por ejemplo, el artículo de La Gran Época (2013), menciona en una entrevista con la Radio U. de Chile al académico Mauricio Molina Pereira quien expone que “las marejadas están en alza en los últimos 15 años y que el fenómeno se proyecta con más frecuencia para el futuro. Las marejadas están siendo más recurrentes, aunque no necesariamente más intensas. Se espera que esto se mantenga en el futuro, debido a que hay algunos estudios que relacionan el oleaje con el cambio climático no solamente en Chile sino que a nivel global. Por efecto del cambio climático se espera que haya un aumento progresivo de las alturas del oleaje”. Adicionalmente, el artículo afirma que las olas han causado, están y seguirán causando daños en locales comerciales de los principales balnearios del país, entre ellos, los de Reñaca en la Quinta Región de Valparaíso.

“La reiteración de los eventos extremos en Diciembre de 2015 y en la segunda quincena del mes de Enero de 2016, así como la constatación del Servicio Meteorológico de la Armada del incremento en su frecuencia, determina una nueva mirada respecto de los resguardos de las actividades costeras”. Así lo anuncia la directora de Obras Portuarias del MOP y el experto de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de

Valparaíso, Patricio Winckler, quien asegura que “el bordemar se debe planificar considerando el riesgo al que la población y la infraestructura costera estará expuesta en las próximas décadas. Esto, debido a que una parte de los estudios del Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) indican que la frecuencia e intensidad de los temporales se irá incrementando en el tiempo como se ha evidenciado en Chile en los últimos años y por otra parte, todos queremos acercarnos a la costa, lo que implica seguir poniendo presión al territorio costero y aumentando la vulnerabilidad de sus instalaciones” (El Mercurio de Valparaíso, 2016).

Winckler agrega que “la adaptación a la nueva realidad puede ser implementada a través de una combinación de medidas blandas asociadas a la planificación territorial y obras de infraestructura, como defensas costeras. Esto se suma a la amenaza climática de los tsunamis, lo cual aumentaría la complejidad de los diseños y demandaría definiciones de las municipalidades y los ministerios competentes quienes deben implementar diseños que seguramente serán más robustos y caros al considerar estas amenazas, de modo de evitar que cada vez que se produzca un temporal, se generen pérdidas económicas y de valor escénico de nuestras costas” (El Mercurio de Valparaíso, 2016).

Actualmente sobresale que la directora de Obras Portuarias Antonia Bordas en conjunto con la U. de Valparaíso trabajan en un estudio para optimizar el enrocado de Av. Perú en Viña del Mar y otro para evaluar el funcionamiento de las playas. Además colaboran en una mesa técnica de la Municipalidad de Viña del Mar para generar obras de mitigación (El Mercurio de Valparaíso, 2016).

8.3.2.2 Marco Legal

En el Decreto 10949 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Viña del Mar, se define al Borde Costero como “la zona entre las vías que recorren el borde litoral y el mar y que se extiende desde el límite con la comuna de Concón hasta el límite sur de la comuna de Viña del Mar con Valparaíso en el sauce. Esta zona comprende las áreas de playa y roqueríos junto al mar que dan lugar a una gran afluencia de personas con fines recreativos y turísticos. Además esta zona conserva las disposiciones establecidas para la Zona L-M del Decreto Supremo 329/80 MINVU, teniendo presente que el borde costero deberá estudiarse integralmente a corto plazo” (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Viña del Mar, 2002).

El Decreto 329 en la aprobación del plan regulador de Viña del Mar por la Ley General de Urbanismo y Construcciones, “la Zona L-M corresponde a la conformada por las áreas de playa y roqueríos del litoral marítimo de la comuna, donde sus usos permitidos son: equipamiento turístico, recreacional y deportivo, artesanía pesquera. Las construcciones que se emplacen en esta Zona serán complementarias para el uso de los recursos naturales y deberán mantener y preservar su carácter de tales” (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Viña del Mar, 2002).

Cabe destacar que “tanto la erradicación de las actividades contrapuestas al rol turístico, como la consolidación físico-espacial del borde costero, que lo terminaría de definir en forma inequívoca como lugar de esparcimiento, aún se encuentran en un proceso inconcluso. Esto quiere decir que del análisis de la Normativa de Concesiones; de la definición de los conceptos del borde, línea de la Playa, Playa de Mar, Terreno de Playa, Zona de protección Costera y de la situación en terreno del borde litoral; se concluye que la franja del borde costero es muy limitada en cuanto a su ancho, que prácticamente la vialidad se encuentra emplazada en los terrenos de playa, que debido a esto es imposible definir una zona de protección costera en esta franja ya que los asentamientos se encuentran en gran parte dentro de los terrenos de playa del borde costero” (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones de Viña del Mar, 2002).

Por otro lado, “la Norma Técnica NTM 007 (2013) define los instrumentos de planificación territorial (IPT) para identificar el área bajo amenaza de inundación, si es que el IPT se encuentra vigente. En el caso que los estudios de riesgo, que sirvieron de base para la confección del IPT, no contengan los datos requeridos por esta norma de columna de agua y velocidades de corriente, será responsabilidad del interesado contratar o acceder a los estudios necesarios para la obtención de ellos”. La cota de inundación en este caso, es la base para los instrumentos de planificación territorial referidos al riesgo por eventos de oleaje extremo (MINVU, 2013).

8.3.2.3 Niveles de Terreno

Respecto a los antecedentes de niveles de terreno y monografías de cotas o vértices sobre el nivel medio del mar (INH, 2013), estos se encuentran referidos a valores locales estableciéndose una cota topográfica promedio de edificación de $C_t = 4.2 m$, utilizada como parámetro comparativo para la cota de inundación CI .