



Memoria del proyecto para optar al Título de  
Ingeniero Civil Oceánico

**EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS  
PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE  
VALPARAÍSO.**

**Daniela Fernanda Manosalva Burgos**

Julio 2018

**EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE VALPARAÍSO.**

Daniela Fernanda Manosalva Burgos

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

SR. MAURICIO MOLINA P.

Profesor guía

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

SR. HERNÁN VERGARA C.

Revisor

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

SR. FELIPE CASELLI B.

Revisor

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## **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.

---

Daniela Manosalva Burgos  
Alumna

---

Mauricio Molina Pereira  
Profesor Guía

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de corazón a todas aquellas personas que me apoyaron en mi camino, que con una frase o consejo me dieron las fuerzas para seguir y poder terminar mi carrera.

En primer lugar quiero agradecer a mi hermana por su apoyo y compañía durante mi estancia en Valparaíso estos últimos años. Gracias por apoyarme y acompañarme cuando lo he necesitado y ser un apoyo fundamental e indispensable para seguir adelante.

También quiero agradecer a mi profesor guía, Mauricio Molina, por su ayuda incondicional y real vocación, por sus enseñanzas y buena disposición en todo momento. Gracias por su comprensión, valorar mi trabajo y esfuerzo, brindarme un espacio de trabajo y la posibilidad de formar parte de un gran equipo. Le estaré muy agradecida por todas las oportunidades que me ha entregado.

Finalmente, agradecer a mis compañeras de universidad, que me acompañaron en diferentes etapas del desarrollo de este proyecto. Quisiera agradecer a Ana y Catalina por su tiempo, y en especial a Patricia por su apoyo, tiempo brindado en las mediciones, correcciones y desarrollo de este documento.



## **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>RESUMEN.....</b>	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVI</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
2.1 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES EN ESTUDIO.....	3
2.1.1 PLAYA PLACERES.....	4
2.1.2 PLAYA PORTALES.....	5
2.1.3 PLAYA CALETA ABARCA.....	5
2.2 TIPOS DE MUROS COSTEROS.....	6
2.2.1 MURO PRESENTE EN PLAYA CALETA ABARCA.....	6
2.2.2 MURO PRESENTE EN PLAYA PORTALES.....	7
2.2.3 MURO PRESENTE EN PLAYA PLACERES.....	8
2.3 EFECTOS DE LOS FACTORES HIDRODINÁMICOS.....	9
2.4 INFLUENCIA DE LOS MUROS.....	9
2.5 DATOS UTILIZADOS.....	10
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>11</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
<b>4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....</b>	<b>12</b>
<b>5 FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
5.1 ZONA LITORAL: LAS PLAYAS.....	13
5.1.1 ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE UNA PLAYA.....	14
5.1.2 MONITOREO DE PLAYA.....	15
5.2 FACTORES HIDRODINÁMICOS.....	16
5.2.1 OLEAJE.....	16
5.2.2 MAREA.....	18
5.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	19
5.4 PROPAGACIÓN ESPECTRAL DEL OLEAJE.....	21
5.5 EVENTOS EXTREMOS.....	21
5.6 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS.....	23
5.7 RIESGO DE EROSIÓN COSTERA.....	23
5.8 LA INTERVENCIÓN HUMANA Y EL BALANCE SEDIMENTARIO.....	24
5.8.1 LA EROSIÓN DIRECTA.....	24
5.8.2 LA EROSIÓN INDIRECTA.....	24
5.9 PÉRDIDA DE LA PLAYA.....	24
5.10 GESTIÓN DE LOS ESPACIOS COSTEROS.....	25
5.11 INTERACCIÓN MURO-PLAYA.....	25
5.11.1 ESTUDIOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.....	26
5.11.2 EFECTOS DE LOS MUROS EN EL PERFIL DE LA PLAYA.....	28
5.11.3 UBICACIÓN DEL MURO DENTRO DE LA PLAYA.....	31
<b>6 REGISTROS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO.....</b>	<b>32</b>
6.1 LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES.....	32

6.1.1	PERFILES EN PLAYA CALETA ABARCA.....	32
6.1.2	PERFILES EN PLAYA PORTALES .....	33
6.1.3	PERFILES EN PLAYA PLACERES .....	33
6.2	DATOS DEL LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES.....	34
6.3	FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA DE GOOGLE EARTH .....	35
6.4	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE LÍNEA DE AGUA .....	35
6.5	CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES HIDRODINÁMICOS.....	38
6.5.1	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE .....	38
6.5.2	CARACTERIZACIÓN DE LA MAREA EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO .....	45
6.6	EVOLUCIÓN ANUAL DE LOS PERFILES TRANSVERSALES .....	46
6.6.1	CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA CALETA ABARCA.....	47
6.6.2	CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA PORTALES .....	48
6.6.3	CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA PLACERES .....	49
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>50</b>
7.1	DEFINICIÓN DEL NIVEL DE LA LÍNEA DE AGUA .....	50
7.2	ANÁLISIS DE LOS ANCHOS DEL PERFIL TRANSVERSAL OBTENIDO EN LAS MEDICIONES.....	52
7.3	PROCESAMIENTO DE DATOS DE REGISTRO .....	52
7.3.1	DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE LA PLAYA EN BASE A FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS CON VISTA EN PLANTA.....	52
7.3.2	RECTIFICACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA .....	53
7.3.3	DETERMINACIÓN DE LOS ANCHOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE CADA AÑO .....	54
7.4	ANÁLISIS DE DATA DE OLEAJE Y CORRELACIÓN CON LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN REGISTRADOS.....	54
7.5	ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS QUE SE ESTUDIARÁN.....	54
<b>8</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
8.1	EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS .....	55
8.1.1	ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA PORTALES .....	55
8.1.2	ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA PLACERES .....	56
8.1.3	ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA CALETA ABARCA.....	58
8.2	COMPARACIÓN ENTRE DATOS DE MEDICIONES Y FOTOGRAFÍAS .....	60
8.2.1	COMPARACIÓN DEL ANCHO DE LOS PERFILES EN LAS FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS Y MEDICIONES REALIZADAS IN SITU DURANTE EL MISMO PERIODO.....	60
8.2.2	VALIDACIÓN DE DATOS DE FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA.....	64
8.2.3	COMPARACIÓN MÁXIMOS Y MÍNIMO ANUALES ENTRE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES.....	67
8.3	CORRELACIÓN DE DATOS DE OLEAJE CON LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN REGISTRADOS .....	72
8.3.1	RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE-EROSIÓN: PLAYA PORTALES .....	72
8.3.2	RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE-EROSIÓN: PLAYA PLACERES .....	74
8.3.3	RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE-EROSIÓN: PLAYA CALETA ABARCA .....	75
8.4	EVENTOS EXTREMO DE OLEAJE EN EL PERIODO DE ESTUDIO .....	77
8.4.1	EVENTOS EXTREMOS: PLAYA CALETA ABARCA .....	77
8.4.2	EVENTOS EXTREMOS: PLAYA PLACERES Y PORTALES .....	77
8.4.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE .....	78
8.4.4	CARACTERÍSTICAS EVENTO DEL 25 DE JUNIO DE 2017 .....	80

8.5	COMPARACIÓN ENTRE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR EL EVENTO DE AGOSTO DE 2015 Y EVENTO DE JUNIO 2017 .....	83
8.5.1	EFECTOS EN PLAYA PORTALES.....	83
8.5.2	EFECTOS EN PLAYA PLACERES.....	86
8.5.3	EFECTOS CALETA ABARCA.....	88
8.6	CARACTERIZACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO .....	90
8.6.1	CASOS DONDE NO ES TAN VISIBLE EL EFECTO DEL MURO.....	90
8.6.2	CASOS DONDE PARTE DE LA PLAYA HA SIDO AFECTADA POR EL MURO ....	92
<b>9</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>96</b>
9.1	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	96
9.2	COMPARACIÓN ANCHO DE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES EN TERRENO.....	96
9.3	COMPARACIÓN DE MÍNIMOS Y MÁXIMOS ANUALES ENTRE AMBOS REGISTROS.	96
9.4	CORRELACIÓN ENTRE DATOS DE EVENTOS EXTREMOS Y LOS CAMBIOS EN EL PERFIL TRANSVERSAL DE LA PLAYA .....	97
9.5	POSIBLE EFECTO ASOCIADO A LA PRESENCIA DE MUROS .....	98
9.5.1	CASOS DONDE NO ES TAN VISIBLE EL EFECTO: PLAYA PLACERES.....	98
9.5.2	CASOS DONDE PARTE DE LA PLAYA HA SIDO AFECTADA: PLAYA PORTALES Y PLAYA CALETA ABARCA.....	99
9.6	INFLUENCIA DE LA MAREA EN LA EROSIÓN.....	104
<b>10</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>105</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>106</b>
<b>12</b>	<b>GLOSARIO .....</b>	<b>108</b>
<b>13</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>110</b>
<b>14</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>113</b>
14.1	TABLAS DE INCIDENCIA: ANÁLISIS DE CONDICIONES DE OLEAJE EN PLAYA CALETA ABARCA.....	113
14.2	TABLAS DE INCIDENCIA: ANÁLISIS DE CONDICIONES DE OLEAJE EN PLAYAS PLACERES Y PORTALES. ....	116
14.3	ROSAS DE BARRAS DEL ESTUDIO DE OLEAJE. ....	119
14.4	TABLA DE ALTURAS DE OLA UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE CLIMA EXTREMO .	120
14.5	FIGURAS DEL ANÁLISIS DE LARGO PLAZO DE OLEAJE. ....	122
14.6	TABLA DE CONSTITUYENTES ARMÓNICO PARA LA SERIE DE DATOS DE NOVIEMBRE DE 2016. ....	123
14.7	TABLAS DE DATOS DEL LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES.....	124
14.8	FIGURAS DE COMPARACIÓN DEL ANCHO DE LOS PERFILES ENTRE FOTOGRAFÍAS-MEDICIONES.....	125
14.8.1	GRÁFICOS DE VALIDACIÓN DE DATOS DE FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA. 129	
14.8.2	GRÁFICOS DE COMPARACIÓN MÁXIMOS Y MÍNIMOS ANUALES DE LAS FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES, JUNTO AL RANGO DE ERROR. ....	132
14.8.3	GRÁFICOS DE ANCHOS DEL PERFIL TRANSVERSAL OBTENIDO EN LAS MEDICIONES.....	136

## **INDICE DE TABLA**

Tabla 6-1 Valores del Nivel de línea de agua para los perfiles en playa Portales.....	35
Tabla 6-2 Valores del Nivel de línea de agua para perfiles de playa Placeres. ....	36
Tabla 6-3 Valores del Nivel de línea de agua para perfiles de playa Caleta Abarca.....	37
Tabla 6-4: Coordenadas de cada registro utilizado en el análisis de factores hidrodinámicos. ....	38
Tabla 6-5: Resultados de las distribuciones de Weibull, Gumbel y Log-normal, Caleta Abarca.....	40
Tabla 6-6: Resultados de Hs [m] esperados para Tr [años], Caleta Abarca. ....	41
Tabla 6-7: Resultados de las distribuciones de Weibull, Gumbel y Log-normal para Placeres y Portales. ....	43
Tabla 6-8: Resultados de Hs [m] esperados para Tr [años], Placeres y Portales. ....	44
Tabla 8-1: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Portales. ....	61
Tabla 8-2: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Placeres.....	62
Tabla 8-3: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Caleta Abarca.....	62
Tabla 8-4: Diferencias anchos máximos de los perfiles, Playa Placeres.....	69
Tabla 8-5: Diferencias anchos máximos de los perfiles, Playa Caleta Abarca.....	70
Tabla 14-1: Tabla de Incidencia Hs v/s Tp, playa Caleta Abarca. ....	113
Tabla 14-2: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playa Caleta Abarca. ....	114
Tabla 14-3: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playa Caleta Abarca. ....	115
Tabla 14-4: Tabla de Incidencia Hs v/s Tp, playas Placeres y Portales. ....	116
Tabla 14-5: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playas Placeres y Portales. ....	117
Tabla 14-6: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playas Placeres y Portales. ....	118
Tabla 14-7: Lista de máximos anuales para el periodo de 1979-2017, Caleta Abarca.....	120
Tabla 14-8: Lista de máximos anuales para el periodo de 1979-2017, Placeres y Portales.....	121
Tabla 14-9: Amplitud y fase de las constantes armónicas, incluye sus respectivos errores. Noviembre 2016.....	123
Tabla 14-10: Registro de mediciones realizadas entre 2013-2017, playa Caleta Abarca.....	124
Tabla 14-11: Registro de mediciones realizadas entre 2014-2017, playa Portales. ....	124
Tabla 14-12: Registro mediciones realizadas entre 2014-2017, playa Placeres.....	125

## **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1-1: Algunas estructuras presentes en el borde costero de Valparaíso y Viña del Mar.....	1
Figura 2-1 Ubicación de las playas estudiadas dentro de la Bahía de Valparaíso.....	4
Figura 2-2: Playa Placeres 20-09-2014. ....	4
Figura 2-3 Playa Portales 20-09-2014. ....	5
Figura 2-4: Playa Caleta Abarca 07-09-2016.....	6
Figura 2-5: Arranque de los primeros 3 perfiles de Caleta Abarca.....	6
Figura 2-6: Arranque de los últimos 2 perfiles de Caleta Abarca. ....	7
Figura 2-7: Arranque de los perfiles de Portales.....	7
Figura 2-8: Arranque de perfil n°1 de playa Placeres. ....	8
Figura 2-9: Arranque de los perfiles n°2 y n°3, playa Placeres. ....	8
Figura 2-10: Evolución morfológica de playa Miramar.....	10
Figura 5-1: Diagrama de los tópicos que se interrelacionan dentro del proyecto.....	13
Figura 5-2 Elementos morfológicos del perfil de playa. ....	14
Figura 5-3: Método de Emery para la medición de perfiles transversales en la playa. ....	15
Figura 5-4: Esquema de medición y alumnos midiendo en campaña 2013. ....	16
Figura 5-5: Esquema de la propagación del oleaje hacia la costa. ....	17
Figura 5-6: Esquema del transporte de sedimentos hacia la playa. ....	19
Figura 5-7: Esquema del perfil de playa disipativo y reflejante.....	20
Figura 5-8: Distribución anual de eventos extremos con daños y/o impactos en las costas de Chile, 1979-2015. ....	22
Figura 5-9: Distribución mensual eventos de marejadas que produjeron daños, 1823-2015. ....	22
Figura 5-10 Ecuación para obtener el Índice Dolan y Davis (1992). ....	23
Figura 5-11: Esquema de erosión sobre la playa. ....	25
Figura 6-1: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Caleta Abarca. ....	32
Figura 6-2: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Portales. ....	33
Figura 6-3: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Placeres. ....	34
Figura 6-4: Nivel de línea de agua para perfil n°3, playa Portales.....	35

Figura 6-5: Nivel de línea de agua para perfil nº1, playa Placeres. ....	36
Figura 6-6: Nivel de línea de agua para perfil nº1, playa Caleta Abarca. ....	37
Figura 6-7: Mapa de la ubicación de los registros de la información de Marea y Oleaje analizados. ....	38
Figura 6-8: Dispersión direccional del registro de oleaje, Caleta Abarca. ....	40
Figura 6-9: Hs[m]-Periodo de retorno [años] para Caleta Abarca. ....	41
Figura 6-10: Dispersión direccional del registro de oleaje, playas Placeres y Portales. ....	42
Figura 6-11: Hs[m]-Periodo de retorno [años] para Placeres y Portales. ....	44
Figura 6-12: Planos de referencia del nivel del mar, Noviembre de 2016, Bahía de Valparaíso. ....	46
Figura 6-13: Ciclo de acreción del perfil nº1, playa Caleta Abarca. ....	47
Figura 6-14: Ciclo de erosión del perfil nº1, playa Caleta Abarca. ....	47
Figura 6-15: Ciclo de acreción del perfil nº4, playa Portales. ....	48
Figura 6-16: Ciclo de erosión del perfil N°4, playa Portales. ....	48
Figura 6-17: Ciclo de acreción del perfil nº2, playa Placeres. ....	49
Figura 6-18: Ciclo de erosión del perfil nº2, playa Placeres. ....	49
Figura 7-1 Metodología para cálculo de la elevación respecto al NRS. ....	50
Figura 7-2: Determinación del Nivel de Reducción de Sondas. ....	51
Figura 7-3: Fotografía georreferenciada con los puntos de arranque de los perfiles en playa Portales. ....	52
Figura 7-4: Esquema para obtener los rangos de error asociados a la pendiente del perfil y el rango de marea. ....	53
Figura 8-1: Ancho del Perfil nº3 - Portales, mediciones entre 2014- 2017. ....	56
Figura 8-2: Ancho del perfil nº1- Placeres, mediciones entre 2014-2017. ....	57
Figura 8-3: Ancho del perfil nº1 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017. ....	58
Figura 8-4: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº3, Portales. ....	60
Figura 8-5: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº1, Placeres. ....	61
Figura 8-6: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017, Perfil nº1, Caleta Abarca. ....	63
Figura 8-7: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones - Perfil nº3, Portales. ....	64
Figura 8-8 Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones – Perfil nº1, Placeres. ....	65

Figura 8-9 Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones – Perfil n°1, Caleta Abarca. ....	66
Figura 8-10: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°3 - playa Portales. ....	68
Figura 8-11: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°1, playa Placeres. ....	69
Figura 8-12: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°1 - playa Caleta Abarca. ....	70
Figura 8-13: Caracterización de eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [s], playa Portales. ....	73
Figura 8-14: Caracterización de los eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [S], playa Placeres. ....	74
Figura 8-15: Caracterización de eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [s], playa Caleta Abarca. ....	76
Figura 8-16: Índice de tormenta de eventos extremos ocurridos entre 1979-2017, Caleta Abarca. ....	77
Figura 8-17: Índice de tormenta de eventos extremos ocurridos entre 1979-2017, Placeres y Portales. ....	78
Figura 8-18: Registro de alturas evento del 8 de agosto de 2015, Caleta Abarca. ....	79
Figura 8-19: Registro de alturas evento del 8 de agosto de 2015, Placeres y Portales. ....	79
Figura 8-20: Registro del nivel del mar y marea meteorológica de Valparaíso durante el evento del 8/08/2015. ....	80
Figura 8-21: Registro de alturas evento del 25 de junio de 2017, Caleta Abarca. ....	81
Figura 8-22: Registro de alturas evento del 25 de junio de 2017, Placeres y Portales. ....	81
Figura 8-23: Serie de tiempo de marea antes del evento del 25/06/2017. ....	82
Figura 8-24: Serie de tiempo de marea durante del evento del 25/06/2017. ....	82
Figura 8-25: Cambios en el perfil transversal n°4 de playa Portales por el evento del 8/08/2015. ..	84
Figura 8-26: Comparación del perfil transversal n°4 de playa Portales, antes y después del evento del 25/06/2017. ....	85
Figura 8-27: Comparación del perfil transversal n°4 medido después de los eventos analizados, Portales. ....	85
Figura 8-28: Cambios en el perfil transversal n°2 de playa Placeres por el evento del 8/08/2015. .	86
Figura 8-29: Comparación perfil transversal n°2 antes y después del evento del 25/06/2017, Placeres. ....	87
Figura 8-30: Comparación perfil transversal n°2 medido después de los eventos analizados, Placeres. ....	87
Figura 8-31: Cambios en el perfil transversal n°1 de playa Caleta Abarca por el evento del 8/08/2015. ....	88

Figura 8-32: Comparación perfil transversal nº1 antes y después del evento del 25/06/2017, Caleta Abarca. ....	89
Figura 8-33: Comparación perfil transversal nº1 medido después de los eventos analizados, Caleta Abarca. ....	90
Figura 8-34: Vista en planta de la posición de la costa en playa Placeres durante verano. ....	91
Figura 8-35: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Placeres durante invierno. ....	91
Figura 8-36: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Portales durante verano. ....	92
Figura 8-37: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Portales durante invierno. ....	93
Figura 8-38: Vista en planta de la posición de la línea de costa en el perfil nº4 - playa Portales. ...	93
Figura 8-39: Vista en planta de la posición de costa en playa Caleta Abarca durante verano. ....	94
Figura 8-40: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Caleta Abarca durante invierno. ....	95
Figura 9-1: Perfiles medidos en el perfil nº2, Placeres. ....	98
Figura 9-2: Perfiles seleccionados para su comparación, playa Portales. ....	100
Figura 9-3: Comparación de la forma de los perfiles transversales, playa Portales. ....	100
Figura 9-4: Comparación de anchos medidos de los perfiles nº3 y perfil nº4 (2015-2016), Portales. ....	101
Figura 9-5: Comparación de las diferencias entre los anchos medidos en cada medición, Perfiles nº3 y nº4 de Portales. ....	102
Figura 9-6: Perfiles seleccionados para su comparación en playa Caleta Abarca. ....	102
Figura 9-7: Comparación de la forma del perfil transversal, Caleta Abarca. ....	103
Figura 9-8: Comparación de anchos medidos de los perfil nº2 y nº5 (2015-2016), Caleta Abarca. ....	104
Figura 9-9: Comparación de las diferencias entre los anchos medidos en cada medición, perfiles nº2 y nº5 en Caleta Abarca. ....	104
Figura 14-1: Rosa de barras del registro de oleaje en playas Placeres y Portales. ....	119
Figura 14-2: Rosa de barras del registro de oleaje en playa Caleta Abarca. ....	119
Figura 14-3: Función linealizada de Weibull-Petrauskas, Caleta Abarca. ....	122
Figura 14-4: Función linealizada de Weibull-Petrauskas, Placeres y Portales. ....	122
Figura 14-5: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017-Perfil nº4, Portales. ....	125
Figura 14-6: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº2, Placeres. ....	126

Figura 14-7: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº3, Placeres.....	126
Figura 14-8: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº2, Caleta Abarca.....	127
Figura 14-9: Diferencias días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº3, Caleta Abarca. ....	127
Figura 14-10: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº4, Caleta Abarca.....	128
Figura 14-11: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº5, Caleta Abarca.....	128
Figura 14-12: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº4, Portales. ....	129
Figura 14-13: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº2, Placeres.....	129
Figura 14-14: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº3, Placeres.....	130
Figura 14-15: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº2, Caleta Abarca. ....	130
Figura 14-16: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones -Perfil nº3, Caleta Abarca. ....	131
Figura 14-17: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº4, Caleta Abarca. ....	131
Figura 14-18: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº5, Caleta Abarca. ....	132
Figura 14-19: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil nº4 de playa Portales... ..	132
Figura 14-20: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil nº2 de playa Placeres. .	133
Figura 14-21: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil nº3 de playa Placeres. .	133
Figura 14-22: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil nº2, Caleta Abarca. ....	134
Figura 14-23: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil nº3, Caleta Abarca. ....	134
Figura 14-24: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil nº4, Caleta Abarca. ....	135
Figura 14-25: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil nº5, Caleta Abarca. ....	135
Figura 14-26 Ancho del perfil nº4 - Portales, mediciones entre 2014-2017. ....	136
Figura 14-27: Ancho del perfil nº2 - Placeres, mediciones entre 2014-2017.....	136
Figura 14-28: Ancho del Perfil nº3 - Placeres, mediciones entre 2014-2017. ....	137
Figura 14-29: Ancho del perfil nº2 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.....	137

Figura 14-30: Ancho del perfil nº3 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.....	138
Figura 14-31: Ancho del perfil nº4 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.....	138
Figura 14-32: Ancho del perfil nº5 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.....	139

## **RESUMEN**

Las playas sufren continuos cambios topobatimétricos bajo la acción de los factores hidrodinámicos que actúan sobre ellas, tales como: oleaje, corrientes, mareas y entre otros. Estos factores hacen que las playas tengan un ciclo natural de erosión y acreción durante el año, pero también se deben considerar los continuos cambios en el borde costero producto del crecimiento urbano y la construcción de obras marítimas, que modifican su dinámica.

Por ejemplo, se observó que el evento de marejadas ocurrido el 8 de agosto del año 2015 produjo una severa erosión, siendo las playas más afectadas Placeres, Portales y Caleta Abarca. De acuerdo a los registros, este evento ha modificado considerablemente los anchos característicos que presentaban las playas mencionadas y se evidencian posibles secuelas de lo ocurrido hasta fines de 2017.

Para estudiar lo planteado, se caracteriza la evolución morfodinámica de las playas estudiadas a través de las mediciones de perfiles transversales y el análisis de las condiciones de oleaje de los sectores, conjuntamente con la identificación de los eventos que generaron una erosión severa y se correlacionaron con los procesos de erosión de las playas. También se propuso una metodología para relacionar mediciones de perfiles transversales con fotografías aéreas para ampliar la estadística asociada al ancho de las playas, ya que la degradación de estos espacios litorales está asociado a décadas y finalmente se identificaron casos de estudios asociados a las posibles influencias de los muros costeros en este proceso.

Se emplea la información del levantamiento de perfiles transversales generado por el programa de monitoreo de playas de la carrera, niveles de líneas de agua de cada perfil, fotografías aéreas, datos de marea y serie de oleaje entregados por el Atlas de Oleaje (Beyá, 2016), para comprender el escenario en el que se encuentran las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca.

Con todas estas herramientas de trabajo y los estudios realizados se analizó la evolución morfológica de estos espacios litorales, permitiendo confirmar que efectivamente después del evento de agosto del 2015 se observa un retroceso permanente en los anchos de los perfiles transversales de las tres playas estudiadas y todavía no se recuperan de los daños generados por este evento. Respecto al análisis de la posible influencia de los muros, se pudo constatar que en los perfiles donde el muro interactúa directamente con condiciones de oleaje extremo se observa un mayor retroceso del ancho transversal producto del fenómeno de socavamiento generado por la interacción muro-oleaje.

## **ABSTRACT**

Beaches suffer continuous topobathymetric changes because of the action of hydrodynamic factors, such as: waves, currents, tides, among others. These factors make beaches to have a natural cycle of erosion and accretion during the year. In addition, we must consider the continuous changes in the coastline as a result of urban growth and the development of maritime works.

It was observed that the event of swells that occurred on August 8, 2015, produced severe erosion, with the most affected beaches being Placeres, Portales and Caleta Abarca. According to the records, this event has considerably modified the characteristic widths of the aforementioned beaches and evidences possible sequels of what happened until the end of 2017.

In order to study the indicated, the morphodynamic evolution of the studied beaches is characterized through the measurements of transversal profiles and the analysis of the wave conditions of the sectors. In addition, the events that generated severe erosion were identified and correlated with the erosion processes of the beaches. Also, a methodology was proposed to relate measurements of transversal profiles with aerial photographs to extend the statistics associated with the width of the beaches, since the degradation of these coastal spaces is associated to decades and finally cases of studies associated with the possible influences were identified of the coastal walls in this process.

The information of the transversal profile survey generated by the beach monitoring program, water line levels of each profile, aerial photography, tide data and series of waves delivered by the Atlas de Oleaje (Beyá, 2016), is used to understand the scenario where the beaches Placeres, Portales and Caleta Abarca are located. With this, the morphological evolution of these littoral spaces was analyzed and it was established that they present a permanent setback.

After the studies carried out, it is observed that after the August 2015 event there is a permanent setback in the widths of the transversal profiles of the three beaches studied and they still do not recover from the damages generated by this event. Regarding the analysis of the possible influence of the coastal walls, it was found that in the profiles where the wall interacts directly with extreme wave conditions, a greater retreat of the transversal width is observed as a result of the undermining phenomenon generated by the wall-wave interaction.

# 1 INTRODUCCIÓN

Al observar el sector costero entre Valparaíso y Viña del Mar, se puede evidenciar la gran intervención que existe en la costa. En el caso de la ciudad de Viña del Mar, presenta un desarrollo ligado al sector turístico, por lo que existen numerosos paseos turísticos que se emplazan por todo su borde costero. Mientras que en Valparaíso se pueden observar mayoritariamente obras portuarias y en menor medida se asocian al sector turístico y de pesca artesanal, encontrándose el borde costero estabilizado prácticamente en su totalidad. En la Figura 1-1 se presentan algunas obras ubicadas en la costa de Valparaíso y Viña del Mar.

Figura 1-1: Algunas estructuras presentes en el borde costero de Valparaíso y Viña del Mar.  
 a) Piscina de Recreo, b) Obras en playa Acapulco, c) Obras en Avenida Perú, d) Avenida Marina, e) Paseo costero en playa Caleta Abarca, f) Muelles de pescadores en Caleta Portales, g) Paseo Wheelwright, h) Muelle Barón, i) Molo de abrigo y terminal II, Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar el borde costero, las playas se presentan como un foco importante que permiten el desarrollo económico, principalmente del sector turístico y son la principal defensa contra condiciones extremas de oleaje, permitiendo disminuir los daños sobre las obras costeras.

Las marejadas son eventos que han tenido mayor importancia en los últimos años, debido al aumento en sus intensidades que han generado repercusiones en las estructuras costeras y las playas. Respecto a esto, se puede señalar que el evento del 8 de agosto del 2015 produjo daños estructurales en el muelle norte de Caleta Portales y en playa Placeres transportó todo su material sedimentario a gran profundidad, exponiendo por completo la estructura del paseo costero Wheelwright (Winckler et al., 2017).

El escenario que se plantea es que las playas son afectadas constantemente por condiciones extremas de oleaje. Sin embargo, se deben agregar otros factores que podrían estar influenciando la erosión que sufren estos espacios litorales y ello presenta un nuevo problema que se relaciona con el impacto de una marejada de gran potencial destructivo y con la interacción de muros costeros que se emplazan dentro de las playas. Esto se refiere a que los muros podrían estar acrecentando la pérdida del sedimento en algunos sectores de las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca, en una acción conjunta con el aumento en la intensidad de los eventos extremos en la Bahía de Valparaíso.

La marejada del 8 de agosto de 2015 se puede considerar como un evento excepcional por los daños severos registrados sobre las obras costeras y las playas estudiadas. Por ello, se plantea la pregunta: ¿Tendrá un impacto de largo plazo un evento excepcional como el ocurrido en agosto de 2015? Y ¿Tendrá algún rol en el comportamiento de las playas la presencia de muros costeros?

En el desarrollo de este informe se podrá dar respuesta a las preguntas planteadas, a través de cada uno de los capítulos de este trabajo se irán abordando cada una de las problemáticas para cumplir con el objetivo principal de este proyecto de título.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la bahía de Valparaíso se encuentra un continuo desarrollo de obras costeras relacionadas al sector portuario como al acceso de las personas al borde costero. Algunos ejemplos en la ciudad puerto son: el Paseo Wheelright, Avda. Altamirano, Paseo Juan de Saavedra, entre otros. Además, de la conectividad entre las ciudades por el borde costero. Por su parte, la ciudad de Viña del Mar destina sus esfuerzos en la intervención del borde costero asociado al desarrollo del sector turístico, algunas obras son Avenida Marina, el paseo en playa Caleta Abarca, Avenida Perú y el paseo extenso de playa Reñaca.

Estas obras aumentan el potencial turístico de las playas y permiten un mejor acceso de las personas al borde costero. En Valparaíso algunas de las principales playas visitadas son Portales, Placeres, San Mateo y Las Torpederas, y en la ciudad de Viña del Mar se encuentran Reñaca, Caleta Abarca y la recta de las Salinas (Acapulco, El Sol, Los Marineros, El Deporte).

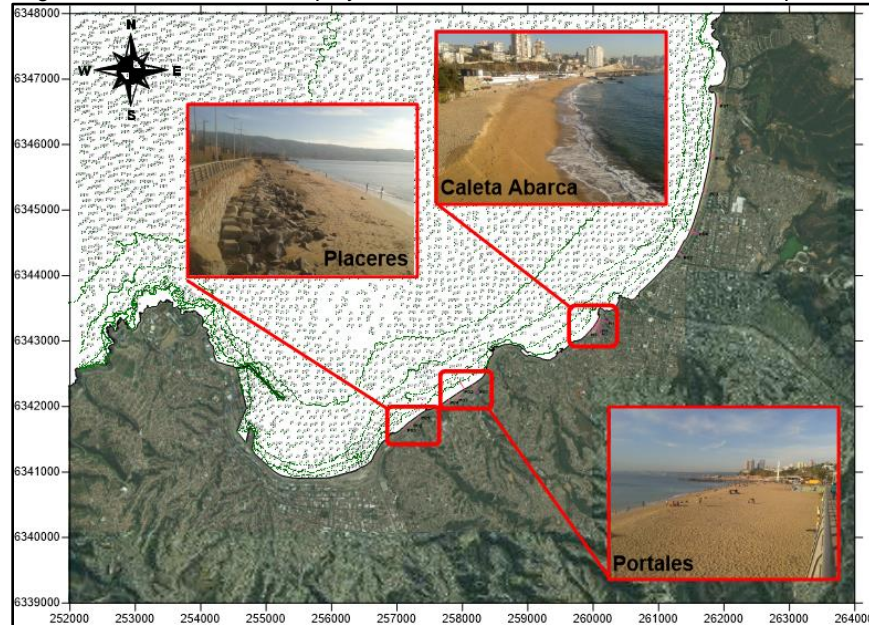
La estabilización de la línea de costa se está expandiendo a lo largo de la costa chilena, por la demanda para desarrollar actividades económicas y aumentar el ingreso por turismo (Aguilera et al., 2016). La mayoría de estas obras costeras incorporan accesos públicos que facilitan el uso de espacios litorales para desarrollar diferentes actividades como la recreación (kayak, pesca deportiva, buceo, entre otros). De acuerdo a Aguilera (2016), las costas de Valparaíso y Viña del Mar se encuentran intervenidas casi en su totalidad, presentando obras de paseos costeros frente a playas, vías de tránsito costeras, rompeolas, muelles tanto para el turismo como para el desarrollo de la pesca artesanal y un gran desarrollo de obras portuarias en Valparaíso.

Por medio de este trabajo se estudiará en detalle el comportamiento de las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca, con el objeto de conocer su evolución morfológica en los últimos años y los principales factores que la han afectado. Por ello, el análisis se focalizará en estudiar el comportamiento de las playas mencionadas después del evento del 8 de agosto del año 2015 y cómo las condiciones extremas de oleaje posteriores fueron intensificando los daños registrados por este evento.

### **2.1 IDENTIFICACIÓN DE SECTORES EN ESTUDIO.**

Para fines de este estudio se analizará la morfodinámica de las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca. Estas playas se encuentran en el sector sur de la bahía de Valparaíso y en la Figura 2-1 se puede observar la ubicación geográfica de cada una de ellas.

Figura 2-1 Ubicación de las playas estudiadas dentro de la Bahía de Valparaíso.

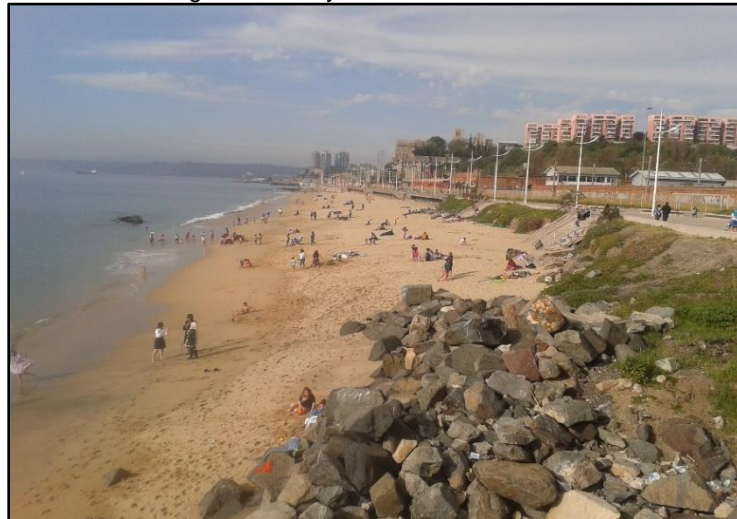


Fuente: Elaboración propia.

### 2.1.1 PLAYA PLACERES

La playa Placeres se encuentra ubicada en el Paseo Wheelwright en la ciudad de Valparaíso, entre las latitudes  $33^{\circ} 2' 4,78''$  S -  $33^{\circ} 2' 13,63''$  S y entre las longitudes  $71^{\circ} 35' 52,91''$  O -  $71^{\circ} 36' 8,59''$  O, y posee una extensión aproximada de 440 metros. También es conocida como playa Barón o El Rostro. A partir del año 2005 comenzaron las operaciones de despeje y limpieza para la recuperación de esta zona costera y la construcción del paseo (La Tercera, 2015)<sup>1</sup>. En la Figura 2-2 se presenta una fotografía de esta playa.

Figura 2-2: Playa Placeres 20-09-2014.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

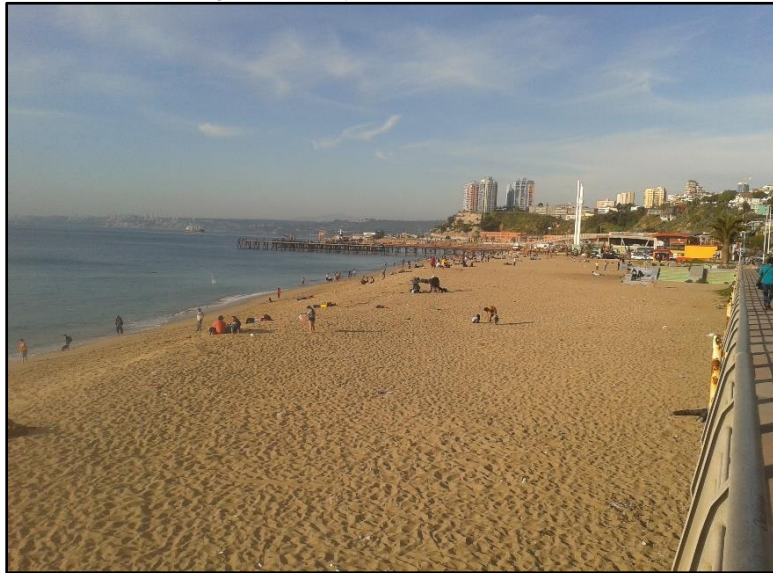
<sup>1</sup> <https://www.latercera.com/paseo-wheelwright-y-playa-placeres/>, (15/12/2015).

### 2.1.2 PLAYA PORTALES

Esta playa se encuentra en la ciudad de Valparaíso junto a la caleta de pescadores artesanales del mismo nombre, se ubica entre las latitudes  $33^{\circ} 1' 47,78''$  S -  $33^{\circ} 2' 0,08''$  S y entre las longitudes  $71^{\circ} 35' 17,60''$  O -  $71^{\circ} 35' 40,31''$  O. Posee una extensión aproximada de 580 metros.

Esta playa es parte de un atractivo turístico de la ciudad puerto, rodeado de restaurantes junto al desarrollo de las actividades de la pesca artesanal y la explotación de productos del mar (La Tercera, 2015)<sup>2</sup>. En la Figura 2-3 se presenta una imagen de la playa.

Figura 2-3 Playa Portales 20-09-2014.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

### 2.1.3 PLAYA CALETA ABARCA

Hasta antes de 1937 el sector de Caleta Abarca era propiedad de una sociedad de maestranza y galvanización. Posteriormente surgió como balneario (El Mercurio de Valparaíso, 2007)<sup>3</sup>.

Esta playa se ubica en la ciudad de Viña del Mar, entre las latitudes  $33^{\circ} 1' 17,97''$  S -  $33^{\circ} 1' 29,44''$  S y entre las longitudes  $71^{\circ} 34' 6,01''$  O -  $71^{\circ} 34' 17,97''$  O. Posee una extensión aproximada de 410 metros. En la Figura 2-4 se presenta una fotografía de la playa durante septiembre de 2016.

<sup>2</sup><https://www.latercera.com/noticia/nacional/2015/12/680-658834-9-v-region-tres-playas--no-estaran-operativas-durante-el-verano.shtml>, (05/12/2015)

<sup>3</sup> <https://www.Elmercuriodevalparaíso.cl/historia-caleta-abarca/>, (26/06/2007).

Figura 2-4: Playa Caleta Abarca 07-09-2016.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

## 2.2 TIPOS DE MUROS COSTEROS

Las playas señaladas, están limitadas y confinadas por muros de contención. Estas estructuras están emplazadas en forma paralela a la línea de costa y con la finalidad de separar el área marítima de la terrestre, entregando soporte a los terrenos y protegiendo así los recintos existentes detrás de estas. Los tipos de muros costeros identificados en cada una de las playas estudiadas se detallan a continuación.

### 2.2.1 MURO PRESENTE EN PLAYA CALETA ABARCA

En playa Caleta Abarca se proyecta un muro de contención de mampostería en piedra, inclinado en la vertical y ondulado en la extensión de la playa. Su actual estado de conservación es bueno.

En la Figura 2-5 se observa el arranque de los primeros 3 perfiles de esta playa.

Figura 2-5: Arranque de los primeros 3 perfiles de Caleta Abarca.

a) Perfil n°1, b) Perfil n°2, c) Perfil n°3.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

En la Figura 2-6 se observa el arranque de los dos últimos perfiles de esta playa, además se puede observar que el muro tiene una configuración recta en la vertical.

Figura 2-6: Arranque de los últimos 2 perfiles de Caleta Abarca.  
a) Perfil n°4, b) Perfil n°5.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

### 2.2.2 MURO PRESENTE EN PLAYA PORTALES

En playa Portales se proyecta un muro de concreto vertical recto. En el caso del arranque del perfil n°3, el muro corresponde a la losa de concreto del estacionamiento relacionado a los restaurantes y presenta una altura de 1 [m]. Para el perfil n°4 se observa un muro de concreto que es parte de las obras del paseo costero y presenta una altura aproximada de 1,5 [m], su actual estado de conservación es malo, producto de la nula conservación y/o reparación. En la Figura 2-7 se presentan fotografías de los arranques de ambos perfiles de la playa de Portales.

Figura 2-7: Arranque de los perfiles de Portales.  
a) Perfil n°3, b) Perfil n°4.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

### 2.2.3 MURO PRESENTE EN PLAYA PLACERES

En playa Placeres se proyecta un muro de mampostería en piedra en el sector donde está ubicado el arranque del perfil n°1. Para el caso de los perfiles n°2 y n°3 de esta playa, se presenta un muro de hormigón armado inclinado en la vertical y que es parte del paseo costero. Este muro presenta una inclinación aproximada de 30° y su actual estado de conservación es bueno.

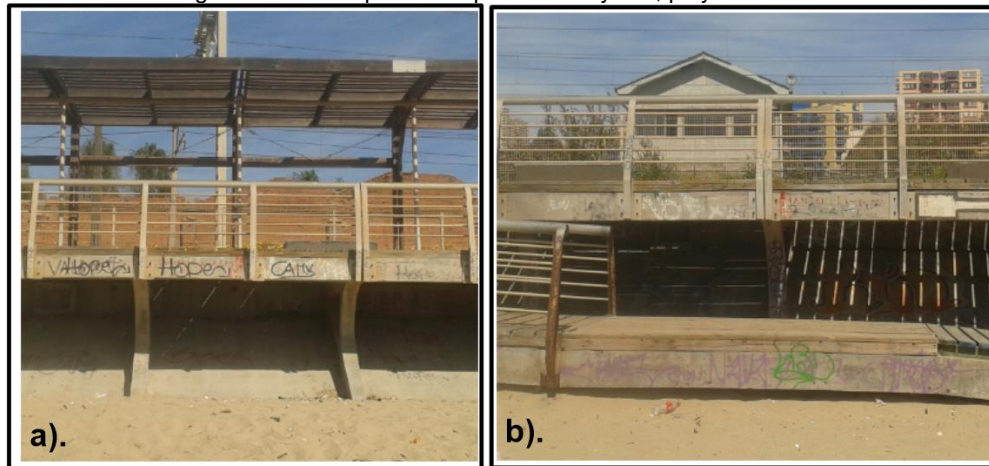
En la Figura 2-8 y Figura 2-9 se muestran las configuraciones de los muros que se emplazan dentro de la playa Placeres.

Figura 2-8: Arranque de perfil n°1 de playa Placeres.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

Figura 2-9: Arranque de los perfiles n°2 y n°3, playa Placeres.



Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

## 2.3 EFECTOS DE LOS FACTORES HIDRODINÁMICOS

El oleaje es el principal factor hidrodinámico que afecta continuamente a las playas y como se ha visto en el último tiempo, las marejadas han sido protagonistas durante el invierno. Esto se evidencia en los daños que han generado estas condiciones de oleaje en la infraestructura costera y en las playas de la bahía. Las marejadas siempre se han presentado en las costas chilenas y existen registros de estos eventos desde 1823 (Campos, 2016). El evento del 8 de agosto de 2015 destaca al encontrarse entre las 3 marejadas más intensas de los últimos 70 años.

Un primer enfoque se refiere a estudiar el evento ocurrido en el mes de agosto del año 2015, que fue caracterizado en el documento de Winckler (2015), donde señala las variables que generaron este evento extremo de oleaje y los daños generados a lo largo de la bahía de Valparaíso, lo posicionan como un evento excepcional. Algunos de los daños generados por el evento del 8 de agosto y que tienen relación con el tema que abarcará esta memoria corresponde a la severa erosión que presentaron las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca.

De acuerdo a los antecedentes entregados, se plantea que el evento de marejadas ocurrido el 8 de agosto del año 2015 generó una erosión histórica desde que se tiene registro, siendo las playas más afectadas Placeres, Portales y Caleta Abarca.

Este fenómeno podría repercutir en la evolución morfodinámica de dichas playas y además incluir otros factores en la erosión de estos espacios litorales. Dichos factores se asocian a la interacción muro-oleaje, ya que al encontrarse la playa en su máximo estado erosivo, el oleaje comienza a actuar directamente sobre el muro costero y genera una acción mayor sobre los sedimentos.

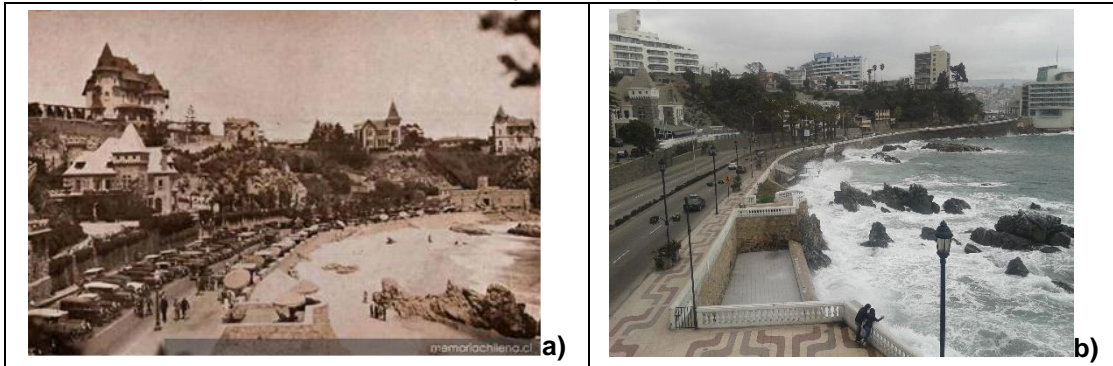
## 2.4 INFLUENCIA DE LOS MUROS

Un segundo enfoque de este documento se relaciona a establecer si existe una influencia por parte de los muros en las playas estudiadas, basándose en el análisis del comportamiento de la morfodinámica de estos sectores costeros en los últimos años. Orrin Pilkey (1988) señala en su documento llamado Muros Versus Playas que se debe comprender que la interacción de los muros costeros y las playas es un problema social muy importante.

Se plantea verificar lo señalado, en base a que se ha observado un continuo retroceso en los anchos transversales de las playas y al comparar fotografías antiguas con las condiciones actuales. Un ejemplo es lo ocurrido en playa Miramar, donde actualmente la playa desapareció completamente y esto podría ser lo que les ocurra en el futuro a las playas bajo estudio. En la Figura 2-10 se muestra la evolución morfológica de playa Miramar a través de las décadas.

Figura 2-10: Evolución morfológica de playa Miramar.

a) Playa Miramar a principios del siglo XX, b) Playa Miramar, fecha 01/ 08/2012.



Fuente: a) memoria chilena.cl, b) Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

## 2.5 DATOS UTILIZADOS

Para abordar el problema que se plantea se utilizaron diferentes bases de datos, entre ellas se encuentra los registros de las mediciones de perfiles realizadas por el programa de monitoreo de playas de la carrera, series de oleaje de la base de datos del Atlas de Oleaje (Beyá, 2016), series de marea proporcionados por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO y fotografías aéreas obtenidas del programa Google Earth.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Identificar los efectos de la marejada del 8 de agosto de 2015 en la evolución morfodinámica de las playas Portales, Placeres y Caleta Abarca, y que han perdurado en los años posteriores.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar la evolución morfodinámica a través de mediciones del perfil transversal de las playas, realizadas entre el 2013 y 2017.
- Proponer metodologías que permitan combinar mediciones de perfiles transversales con fotografías aéreas.
- Determinar las características del oleaje e identificar los eventos extremos que han generado daños severos en las playas estudiadas.
- Correlacionar los procesos de erosión de las playas con las condiciones de oleaje estimadas.
- Identificar posibles efectos de los muros en las playas analizadas.

## **4 ALCANCES Y LIMITACIONES**

Para el estudio se van a presentar los siguientes alcances:

- Se empleará la base de datos obtenida por el programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica mediante el método de Emery (1961).
- Se trabajó con datos de oleaje proporcionados por el Atlas de Oleaje (Beyá, 2016).
- Se cuenta con serie de marea obtenido desde la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO.
- Se trabajó solamente con las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca, ya que en estas zonas costeras fue donde se observó un mayor impacto con la marejada del 8 de agosto y además, en estas playas existen mediciones antes de dicho evento.

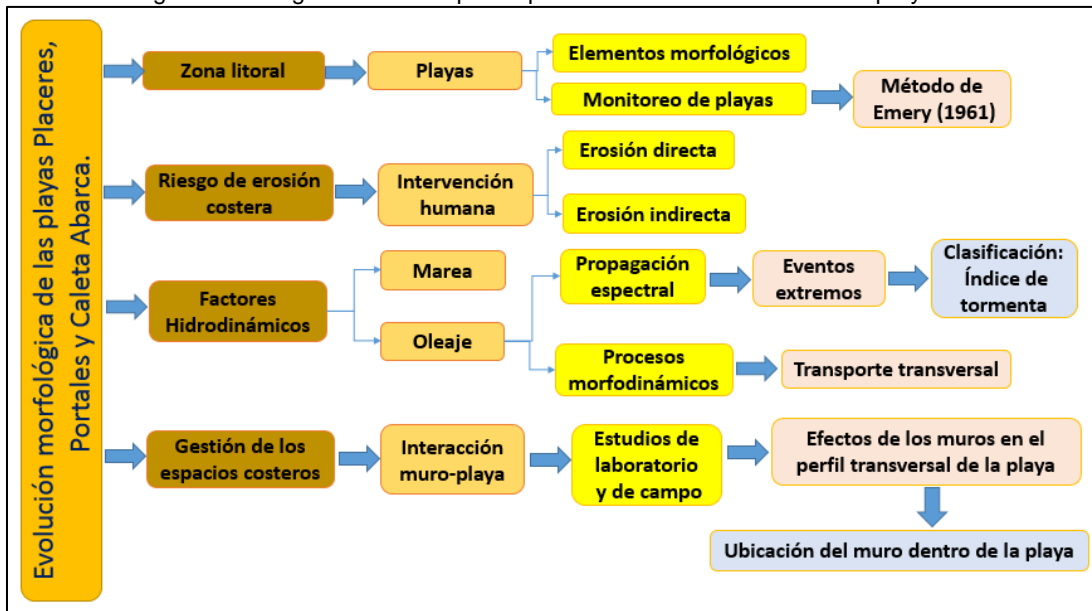
Las limitaciones que se cuentan son:

- No se cuenta con levantamientos de perfiles hasta la profundidad de cierre, por ello la erosión y la acreción se asocian a la playa visible y no al perfil activo total.
- No se cuenta con modelaciones físicas de los perfiles medidos, que permitirían conocer las respuestas que se podrían generar bajo diferentes casos a estudiar, por lo que el análisis se limitará al uso de perfiles transversales medidos.
- Las variaciones longitudinales no serán consideradas dado que no existe información entre los perfiles definidos.

## 5 FUNDAMENTO TEÓRICO

El emplazamiento de obras en el borde costero va asociado al desarrollo económico de las ciudades litorales. Con ello, se evidencia la considerable estabilización de las costas. En relación a los análisis que plantea este documento el principal sector en estudio es la zona litoral específicamente las playas de Placeres, Portales y Caleta Abarca que se encuentran ubicadas en la bahía de Valparaíso (Entre Punta Concón y Punta Ángeles). Por ello, se pretende entregar conocimientos sobre la playa, los fenómenos que ocurren en su interacción con el oleaje, los efectos producidos por los eventos extremos y la posible influencia de los muros costeros. En la Figura 5-1 se presenta un diagrama de los tópicos que abarca el proyecto.

Figura 5-1: Diagrama de los tópicos que se interrelacionan dentro del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

### 5.1 ZONA LITORAL: LAS PLAYAS

Existen diferentes geoformas resultantes de la morfogénesis marina en el borde costero, el cual es la zona donde interactúan tres ambientes geográficos: el océano, el continente y la atmósfera. En detalle se estudiará la zona litoral y en específico las playas y cada uno de sus componentes.

Algunos autores (UNICAN 2000, Olivas 2007 y Villaverde 1998) describen los conceptos de playa, perfil de playa, perfil de acreción, perfil de erosión, perfil de equilibrio.

Las playas son un tipo de formación costera que funciona como un depósito de material sedimentario no consolidado que se acumula a lo largo del borde costero por la acción de diferentes agentes hidrodinámicos (Olivas, 2007). Es uno de los ambientes más dinámicos de nuestro planeta.

Las playas están compuestas por cualquier material abundante en la zona, pero generalmente suele ser arena. El sedimento de las playas habitualmente proviene de la erosión de las dunas costeras (Playa Ritoque), acantilados adyacentes (Horcón y Maitencillo) o del aporte de ríos cercanos (Playa La Boca) que depositan sedimentos en la costa (Olivas, 2007).

### 5.1.1 ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE UNA PLAYA

La configuración que presenta la mayoría de los perfiles transversales de la playa sufre cambios topobatómicos que son producidos por diferentes factores, algunos de los cuales pueden ser el oleaje, las corrientes litorales, el viento, entre otros. De acuerdo a lo planteado por el GIOC (1998), se establecen tres zonas clásicas y las cuales se pueden visualizar en la Figura 5-2.

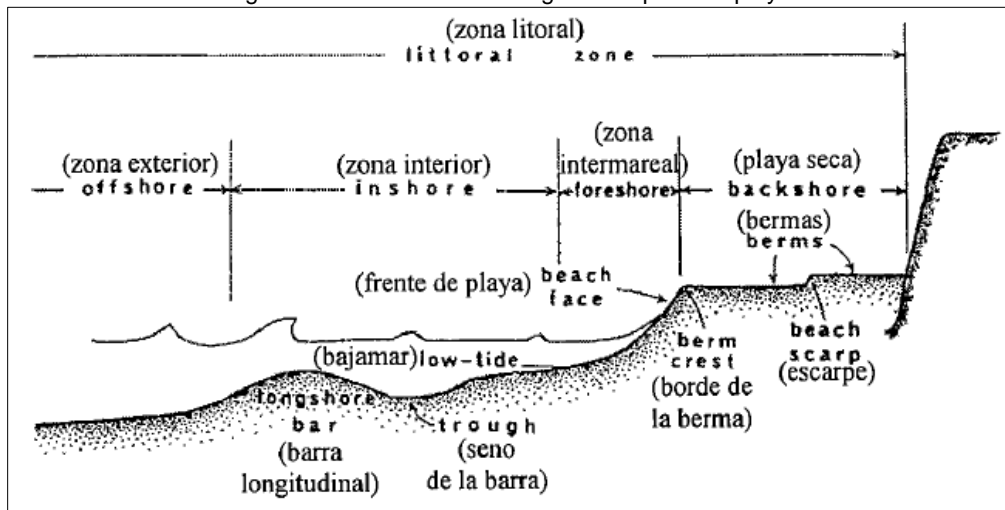
La playa seca es el sector comprendido entre el pie de la duna y el inicio del frente de playa. Esta sección es controlada por los procesos relacionados a la acción del viento y las inundaciones del mar durante eventos extremos de oleaje.

La zona intermareal o cara de la playa, es el sector que se extiende entre el nivel medio de la pleamar y la bajamar, zona que se caracteriza por los cambios constantes de pendiente, debido a que queda expuesta a la acción del flujo ascendente y descendente del oleaje, por esto regularmente se encuentra húmeda.

La playa sumergida es el sector emplazado entre la línea de bajamar hasta una profundidad en que los sedimentos ya no se mueven. Es el lugar donde actúan con mayor intensidad el oleaje y las corrientes litorales, logrando poner en suspensión una gran cantidad de sedimentos, los cuales se acumulan en la barra longitudinal.

Los rasgos morfológicos que se presentan en detalle en cada una de estas zonas del perfil transversal se encuentran definidos en el apartado de glosario.

Figura 5-2 Elementos morfológicos del perfil de playa.



Fuente: Komar (1976).

### 5.1.2 MONITOREO DE PLAYA

Un perfil de playa es una medida de la inclinación y ancho de la playa, el cual muestra cómo la playa se está erosionando o acrecentando su volumen de sedimento a través del tiempo. Existen diferentes métodos e instrumentos para registrar la variación del perfil transversal de una playa, algunos de estos instrumentos son el teodolito y el nivel Abney.

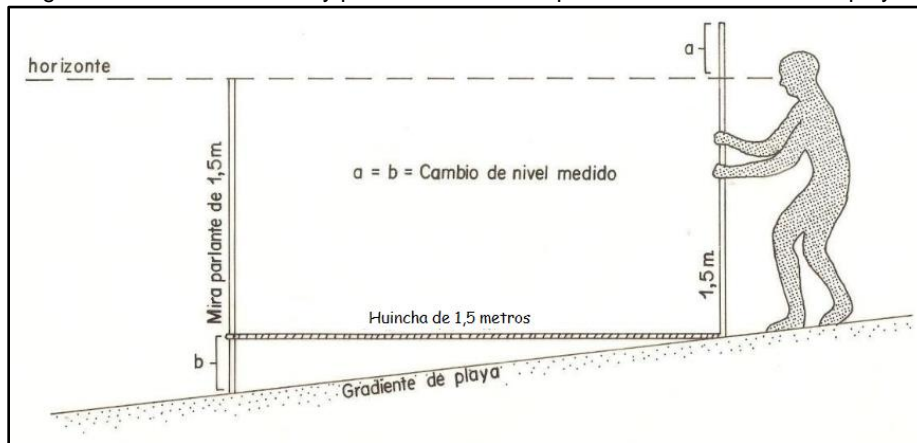
El teodolito es un instrumento que está conformado por brújulas, anteojos analíticos, dispositivos de gran alcance, niveles, microscopio, entre otros. Por su parte, el Nivel Abney corresponde a un instrumento manual, compuesto por un tendido cruzado en el eje x, en el cual se visualiza el arco vertical y el campo de vista (Gálvez, 2016).

El monitoreo consiste en medir el perfil de una playa desde un punto fijo establecido detrás de la playa, punto que será la marca de referencia y el lugar de donde se comienza a medir. Los perfiles previamente establecidos cuentan con marcas que permiten asegurar su orientación y perpendicularidad a la costa.

El método utilizado para obtener la información con la que se cuenta es el Método Emery (1961), el cual se basa fundamentalmente en realizar mediciones de los perfiles transversales de la playa, con la finalidad de registrar las variaciones horizontales y verticales.

Este método precisa del uso de dos listones de 1,5 metros de longitud, una de ellas previamente graduada para cumplir la función de mira. Ambas varas se sitúan a una distancia de 1,5 [m] entre ellas y se registra la variación vertical del perfil, mediante la alineación de la parte superior de la vara no graduada con el horizonte. En la Figura 5-3 y Figura 5-4 se presenta un esquema y fotografías de lo señalado.

Figura 5-3: Método de Emery para la medición de perfiles transversales en la playa.



Fuente: Emery (1961).

El método entrega una precisión del orden de un par de centímetros, la que equivale a la deformación del perfil producto de la pisada de un transeúnte, por lo que la precisión que se ofrece es suficiente para los fines que se persiguen (Molina et al., 2015). A continuación, se entrega un esquema de la medición.

Figura 5-4: Esquema de medición y alumnos midiendo en campaña 2013.



Fuente: Molina et al., (2015).

Posterior al levantamiento de perfiles se procede al procesamiento de datos, actividad que considera: digitalización de datos, correcciones de la distancia de separación entre ambas varas producto de la curvatura de la tierra e interpolación de los datos obtenidos cada 0,2 [m], obteniendo gráficamente el comportamiento del perfil medido in situ.

Este método corresponde al que se utilizó para obtener las mediciones del perfil transversal de las playas que se estudiaran. Con esta metodología se han podido obtener perfiles transversales desde el año 2013 en algunos casos.

## 5.2 FACTORES HIDRODINÁMICOS

Las playas sufren continuos cambios topobatimétricos bajo la acción de factores hidrodinámicos que influyen de menor o mayor medida sobre estas. Los principales agentes hidrodinámicos que afectan una playa son el oleaje, las corrientes litorales y el transporte de sedimentos, entre otros. Cada uno de ellos actúa de acuerdo a su propia escala espacial y temporal generando una respuesta en la playa.

A continuación se presentarán los agentes que son considerados en este estudio.

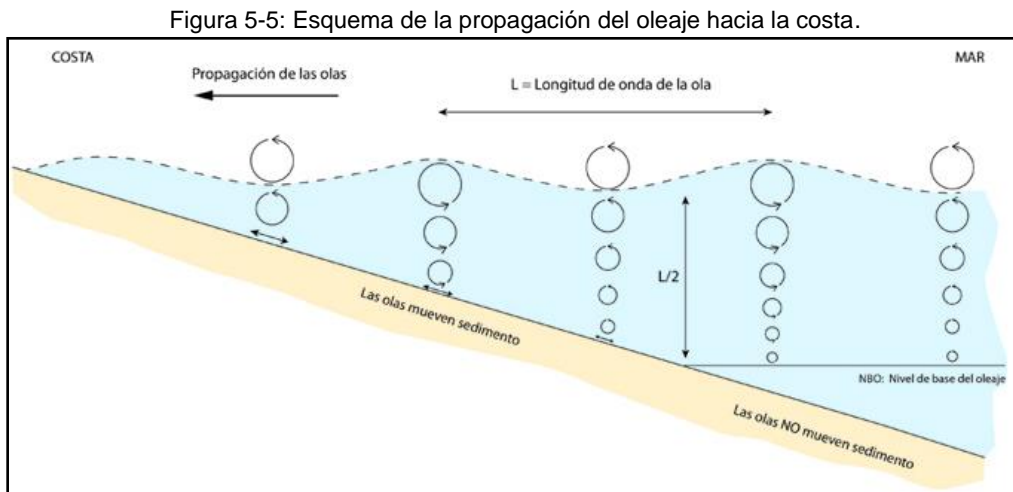
### 5.2.1 OLEAJE

Es el principal agente climático causante de la dinámica litoral y por consecuencia, es primordial en la estabilidad y evolución de una playa, ya que a medida que se acerca a la costa y toca el fondo, genera un conjunto de procesos que determinan la distribución y transporte del sedimento que conforman las playas.

El oleaje es un fenómeno generado por el viento al soplar sobre la superficie de mar, produce una transferencia de energía de la atmósfera al mar, produciendo el oleaje que se propaga fuera de su zona de generación (Olivas, 2007). Posteriormente, se va propagando desde aguas profundas hacia aguas someras describiendo una trayectoria circular y a medida que se aproxima a la costa en zonas de escasa profundidad el movimiento orbital queda alterado por la fricción con el fondo; esto se produce a una profundidad crítica que corresponde aproximadamente a la mitad de la longitud de onda. En el instante en que el oleaje disminuye su capacidad de transporte de los sedimentos de fondo se produce una inclinación en el perfil de ola a medida que ésta se acerca a la orilla disminuyendo su longitud; esto se compensa con el aumento de su altura, lo cual conlleva a una inestabilidad

en la masa del agua que genera una gran energía de la ola que mueve los sedimentos hacia el interior. Luego se origina un flujo de retorno, en el cual el mar se lleva consigo el sedimento de la playa produciendo un efecto erosivo en la costa, especialmente por la abrasión de los materiales que arrastra.

En la Figura 5-5 se presenta un esquema de la propagación del oleaje hacia la costa y los fenómenos de transformación del oleaje que se van presentando en este proceso.



Fuente: Bascom (1960).

Los fenómenos de transformación que experimenta el oleaje condicionan la energía que recibe la playa y el modo en que el oleaje es disipado y transformado en turbulencia. Los procesos más comunes que experimenta el oleaje corresponden a la refracción, difracción, reflexión, asomeramiento y rompimiento. Estos fenómenos asociados a la propagación han sido incorporados dentro del proceso de obtención de oleaje costero, cuyos detalles metodológicos pueden ser revisados en Monsalve (2010).

### 5.2.1.1 CORRIENTES LITORALES

Las corrientes litorales son flujos de agua paralelos o perpendiculares a la orilla de la playa, originadas por la acción permanente del oleaje en el proceso de ruptura de éste. Cuando el frente de ola incide en la playa con determinada oblicuidad al romper, avanza a lo largo de la costa generando dos tipos de corrientes que transportan sedimentos: longitudinales y transversales (Olivas, 2007).

- Las corrientes longitudinales son responsables del transporte del material sedimentario a lo largo de la costa en forma de zig-zag, proceso que se denomina como deriva litoral. Se producen en la zona interior generadas por el proceso de rotura del oleaje (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).
- Las corrientes Transversales son responsables de la formación del perfil y el transporte transversal, es oscilante con una misma dirección del oleaje, hacia la costa y hacia el mar (Sánchez Arcilla & Jiménez, 1994).

## **5.2.2 MAREA**

La marea se define como la elevación y declinación repetida de la superficie del mar, y también de los diferentes cuerpos de agua que se conectan con el océano. Esto ocurre alrededor de dos veces al día en Chile (SHOA, 2002).

### **5.2.2.1 MAREA ASTRONÓMICA.**

En la superficie del mar periódicamente se generan oscilaciones de ascenso y descenso del mar que se conoce como marea astronómica. Estas oscilaciones del nivel del mar son causadas por la fuerza de atracción que ejercen la Luna y el Sol, y se manifiesta en forma de una onda que se propaga a lo largo de la superficie mareal terrestre (Olivas, 2007).

El efecto de la marea se manifiesta en dos formas bien diferenciadas: en las fluctuaciones del nivel del mar y en la generación de corrientes (conocidas como corrientes de marea).

El cambio del nivel del mar debido al efecto de la marea astronómica tiene importantes consecuencias en la morfología de las playas, ya que modifica considerablemente la propagación del oleaje. Además, cambia los límites de la zona de ascenso y descenso del oleaje donde ocurren los mayores cambios morfodinámicos del perfil de las playas.

Las corrientes generadas por la marea son despreciables para este trabajo y en relación a las playas estudiadas, ya que en la zona de rompiente estas corrientes presentan magnitudes menores en comparación a los valores observados en las corrientes generadas por la rotura del oleaje. Además, la marea presenta sus mayores valores en una escala temporal de aproximadamente 3 horas, mientras que los efectos producidos por una tormenta son superiores a 6 horas y son de un orden considerablemente mayor a los presentados por la marea. Frente a un evento extremo no es posible identificar los efectos producidos por la marea, ya que dominan los efectos provocados por el oleaje (Silva, 2014).

### **5.2.2.2 MAREA METEOROLÓGICA**

Son aquellas sobreelevaciones del nivel del mar causadas por cambios bruscos en la presión atmosférica. Su importancia se debe a que provoca subidas y bajadas anormales del nivel del mar que vienen acompañadas de la acción de un temporal, siendo difícil de predecir su frecuencia y magnitud (Olivas, 2007). Por lo tanto, este fenómeno tiene un carácter aleatorio debido a la propia naturaleza de los fenómenos que la generan y su estudio debe realizarse en términos probabilísticos.

Atendiendo al origen de las fluctuaciones o variaciones que pueden presentarse en el nivel del mar y de acuerdo a los fines de este documento se consideraran las fluctuaciones producidas por la marea astronómica y marea meteorológica en su conjunto, ya que los datos son obtenidos del registro de la estación de monitoreo del nivel del mar proporcionado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO. Este registro incorpora ambas mareas en sus mediciones y para este estudio no es necesario estudiar estos fenómenos por separados.

### 5.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

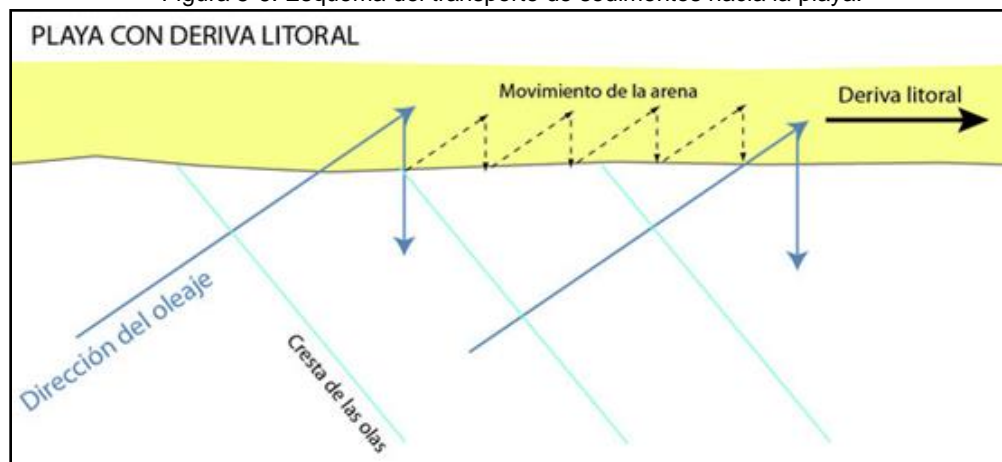
Los procesos morfodinámicos que tienen lugar en la zona litoral, poseen la finalidad de ajustar la cantidad de sedimento en la playa. Siendo la energía del oleaje que incide sobre ella, el principal factor responsable de acomodar y mover el sedimento a lo largo de la playa y modificar su perfil transversal.

En un estudio de la morfodinámica de las playas el transporte de sedimentos es un tema relevante a considerar, ya que es el principal proceso que permite la acumulación, erosión y transporte del sedimento de las playas. Cuando el oleaje rompe contra la playa libera mucha energía y esto provoca el movimiento de una gran cantidad de sedimentos, los cuales son transportados en sentido transversal y longitudinal a la playa por las corrientes litorales.

#### 5.3.1.1 TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS

Se define transporte longitudinal de sedimentos, al desplazamiento paralelo a lo largo de la playa del material sedimentario, ya que el oleaje rompe contra la playa con cierto ángulo que produce que las corrientes generadas transporten longitudinalmente el sedimento. Es el responsable de los mayores desplazamientos de sedimentos, generando considerables cambios de la forma en planta de las playas (Frías, 2017). En la Figura 5-6 se muestra un esquema del transporte longitudinal de sedimentos.

Figura 5-6: Esquema del transporte de sedimentos hacia la playa.



Fuente: Bascom (1960)

#### 5.3.1.2 TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS

El transporte transversal de sedimentos es el movimiento de las partículas de forma perpendicular a la línea de costa asociado a diferentes factores, siendo el más relevante por la acción de la elevación y declinación del oleaje. Es el principal responsable de los cambios producidos en el perfil transversal de la playa generando dos estados estacionales que se han identificados. Estos perfiles estacionales corresponden al perfil de acreción que se presenta durante el verano y al perfil de erosión que es característico durante invierno.

La escala temporal de estos cambios está asociados a meses o estaciones del año. A continuación se describen estos perfiles estacionales característicos:

**a) Perfil Disipativo:**

De acuerdo al GIOC (1998), este estado de playa corresponde al “perfil de invierno”, época donde el fuerte oleaje remueve los sedimentos de la berma, depositándolos en las barras longitudinales, provocando de esta manera la erosión de las playas.

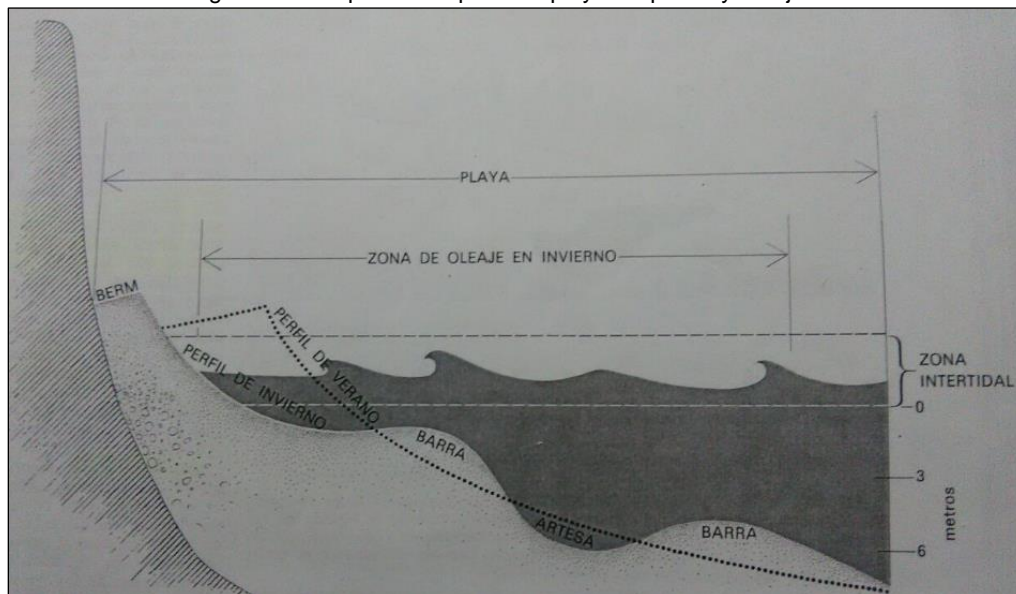
Las playas disipativas se inician al pie de la duna, donde la berma es despreciable. Se caracteriza por presentar arenas finas, pendientes bajas a lo largo de todo el perfil con más de una barra longitudinal, contribuyendo a la disipación del oleaje.

**b) Perfil Reflejante:**

De acuerdo al Grupo de Ingeniería Oceanográfica de Costas (1998), este estado de playa corresponde al “perfil de verano”, época de quietud donde la intensidad del oleaje decae, produciéndose un transporte de sedimentos desde las barras hacia la parte alta del perfil aumentando el ancho de la berma.

La playa reflejante se caracteriza por presentar arenas más gruesas, un marcado frente de playa con gran pendiente, el cual termina en un escalón de playa compuesto por los materiales más gruesos; después de esto la pendiente de la playa decrece considerablemente. En la Figura 5-7 se muestra un esquema de los dos perfiles descritos.

Figura 5-7: Esquema del perfil de playa disipativo y reflejante.



Fuente: Bascom (1960).

## 5.4 PROPAGACIÓN ESPECTRAL DEL OLEAJE

Los datos obtenidos del Atlas de Oleaje (Beyá, 2016), corresponden a un registros que describe el oleaje en aguas profundas al que posteriormente se realizó una transferencia espectral para obtener el oleaje en estaciones de control frente a las playas estudiadas. La información provista corresponde a estados de mar dentro del rango de años comprendidos entre 1979 al 2017.

Los datos que proporciona el Atlas de Oleaje se encuentran calibrados de acuerdo a lo que se señala en el documento de Gallardo y Álvarez (2016). En este documento se presenta la justificación de la elección de los parámetros ingresados al modelo Wavewatch III para la generación de la base de datos utilizado para el desarrollo del Atlas de Oleaje, y con el objetivo de mejorar los indicadores de ajuste del modelo para los oleajes más energéticos. La comparación de cada escenario modelado se realizó con mediciones de boyas y altimetría satelital.

La base de datos de oleaje generada por el Atlas de Oleaje (Beyá, 2016) que se utilizó fue transferida espectralmente hasta la costa aplicando la metodología expuesta por Monsalve (2010).

## 5.5 EVENTOS EXTREMOS

Marejada se define como condiciones de oleaje que presentan olas de alturas considerables generadas por intensos vientos en la zona oceánica que se propagan hasta llegar a zonas costeras o se generan por condiciones locales (Campos, 2016).

Campos (2016) realizó una identificación de eventos de marejadas en base a una evaluación de impactos. Esta clasificación la realizó considerando el número de sectores en los que ocurrió sobrepaso, la descripción de los daños y costos aproximados de reparación de las estructuras afectadas, el daño a locales comerciales y viviendas, número de cierres de puertos por región junto con los costos asociados, cantidad de embarcaciones dañadas y daños a la integridad física humana.

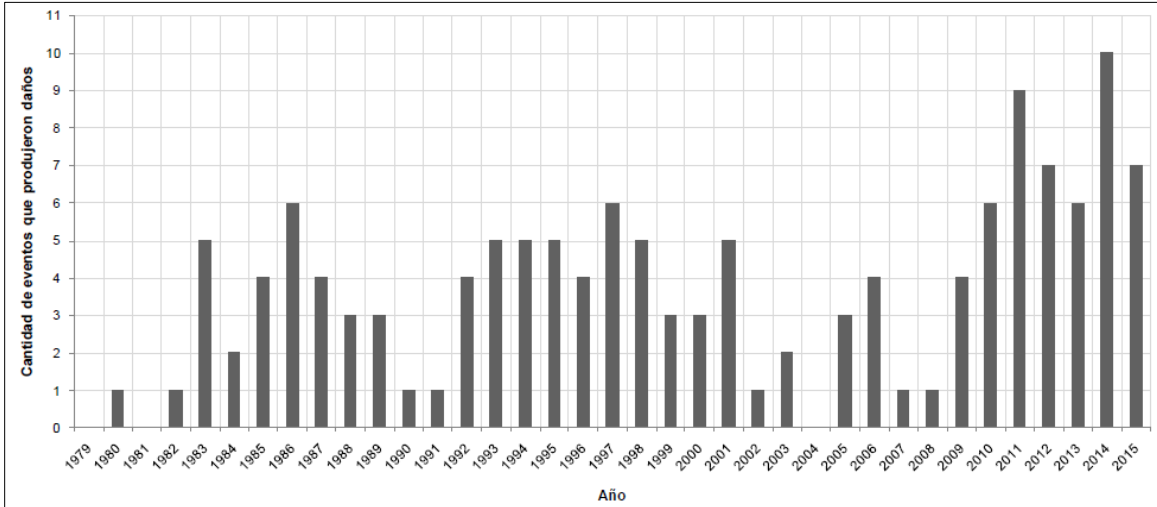
De acuerdo a esos parámetros logró identificar 201 eventos de marejadas en la costa de Chile y de los cuales 64 eventos ocurrieron antes del año 1979. Para estos eventos solamente se cuenta con una descripción sobre los efectos. A partir de 1979, encontró un total de 137 eventos que produjeron daños y que se presenta con un promedio de 4 eventos por año aproximadamente.

Además, realizó un análisis de la distribución anual de los eventos extremos identificados y con ello pudo establecer que se agrupa un número considerable de eventos entre los años 2010-2015, acumulando un 33% de las marejadas ocurridas desde 1979. De la información presentada en la Figura 5-8 se observa un incremento en la cantidad de eventos presentes entre los años señalados.

También, realizó una distribución mensual de marejadas e identificó que la mayor cantidad de eventos ocurren entre los meses de mayo y agosto, alcanzando su máximo el mes de junio. Esto lo asoció a la presencia de ciclones extratropicales de mayores intensidades, generados en latitudes medias del hemisferio sur y cuyos sistemas de baja presión durante

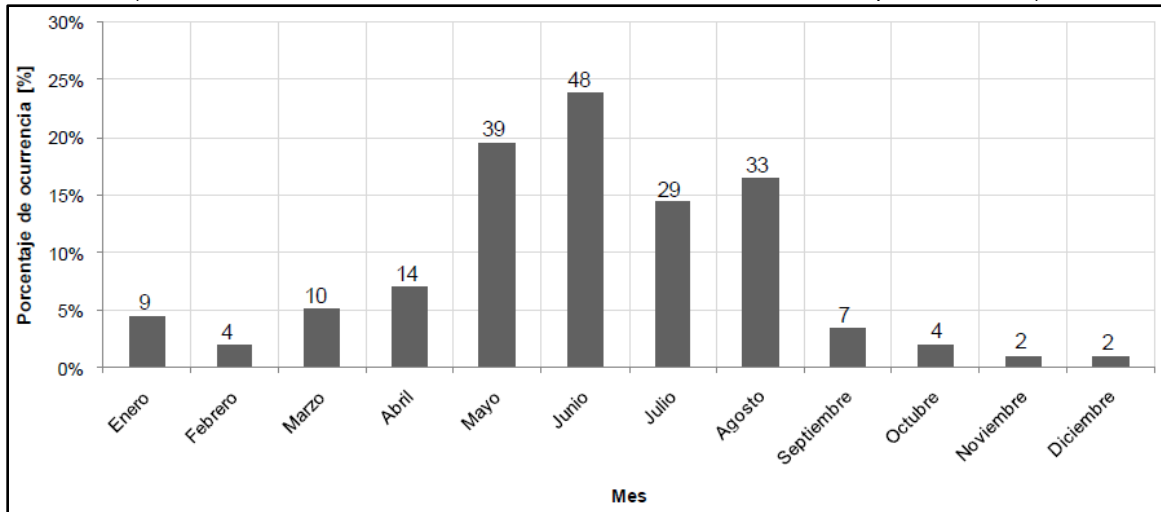
el invierno son más activos e intensos mientras más al Sur se localicen (Campos, 2016). En la Figura 5-9 se presenta la distribución mensual de los eventos extremos mencionada.

Figura 5-8: Distribución anual de eventos extremos con daños y/o impactos en las costas de Chile, 1979-2015.



Fuente: Campos (2016).

Figura 5-9: Distribución mensual eventos de marejadas que produjeron daños, 1823-2015. (Valores sobre las barras indican la cantidad de eventos identificados para cada mes)



Fuente: Campos (2016).

Entre los diferentes efectos que generan las marejadas, el más importante para los fines de este estudio es el daño erosivo que genera en las playas. Se deben estudiar estos eventos, ya que si existe un aumento en el número e intensidad de las marejadas se podría poner en riesgo la supervivencia de estos espacios litorales.

## 5.6 CLASIFICACIÓN DE EVENTOS EXTREMOS

Se realizó una clasificación de los eventos de marejadas en base al trabajo propuesto por Rangel y Anfuso (2011), donde se plantea una clasificación a las tormentas costeras en el litoral español. Este documento aborda la clasificación de tormentas en el lado Atlántico de la región de Andalucía para el período 1958-2001, utilizando el índice que establecieron Dolan y Davis (1992).

El índice para clasificar las tormentas se calculó de acuerdo con la siguiente formulación:

Figura 5-10 Ecuación para obtener el Índice Dolan y Davis (1992).

$$\int Hs^2 td$$

Fuente: Rangel y Anfuso (2011)

Hs: Altura significativa de la tormenta.

td: Duración de la tormenta.

Se consideró la marea del sector en análisis, además se estableció la duración mínima de la tormenta en 12 horas y se fijó un periodo entre tormentas de un día para permitir que sean eventos independientes.

## 5.7 RIESGO DE EROSIÓN COSTERA

En la actualidad el problema de erosión se relaciona directamente a las actividades humanas y al crecimiento urbano cerca del litoral. La principal causa de erosión en las playas se debe al desbalance sedimentario de las corrientes litorales, incrementado por la incorporación de estructuras costeras en la zona litoral, que obstaculizan y modifican la circulación de ésta, cambiando drásticamente los procesos de sedimentación y por consiguiente la morfología de las playas. De acuerdo a Marcomini y López (2006) la erosión puede ser rápida, moderada o lenta.

**La erosión rápida:** La erosión rápida normalmente es causada por una tormenta, en la cual se producen grandes pérdidas de sedimentos en la playa seca, los cuales son trasladados y depositados en las barras longitudinales de la playa sumergida por la acción del oleaje. Cuando las condiciones atmosféricas mejoran, nuevamente son transportadas por el oleaje hacia la playa en formas de bermas, recomponiéndose naturalmente el perfil de la playa.

**La erosión moderada:** La erosión moderada se produce por la intervención del ser humano sobre la costa, el cual altera el medio de forma progresiva y los efectos se comienzan a percibir años después.

**La erosión lenta:** Es una erosión crónica producto del aumento del nivel del mar y otras tendencias de largo plazo, entre ellos los cambios asociados al cambio climático. En este caso el perfil de la playa se desplaza hacia el continente, adaptándose lentamente.

## 5.8 LA INTERVENCIÓN HUMANA Y EL BALANCE SEDIMENTARIO

El ser humano interviene negativamente de diversas formas en el litoral, por lo general introduciendo elementos en el borde costero e incluso tierra adentro, acciones que han afectado a la dinámica litoral induciendo procesos de acumulación y sobre todo de erosión. De acuerdo a Marcomini y López (2006), la erosión producida por el hombre puede ser directa e indirecta.

### 5.8.1 LA EROSIÓN DIRECTA

La erosión producida por el hombre es directa *“cuando existe alguna degradación sobre la morfología natural”* (Marcomini y López, 2006). Son variados los factores que cambian drásticamente la configuración del borde costero, como por ejemplo: El trazado de las avenidas por la zona litoral, la extracción de arena de ríos o esteros con fines de relleno y/o constructivos, degradación de dunas costeras, entre otros.

### 5.8.2 LA EROSIÓN INDIRECTA

La erosión producida por el hombre es indirecta *“cuando una acción producida por el mismo altera algún parámetro, que no se percibe en el momento, pero producirá una modificación a largo plazo”* (Marcomini y López, 2006). Las acciones del hombre inciden sobre la dinámica litoral, modificando el transporte eólico y longitudinal de sedimentos, producto de la fuerte intervención inmobiliaria e incorporación de estructuras en las inmediaciones del borde costero.

## 5.9 PÉRDIDA DE LA PLAYA

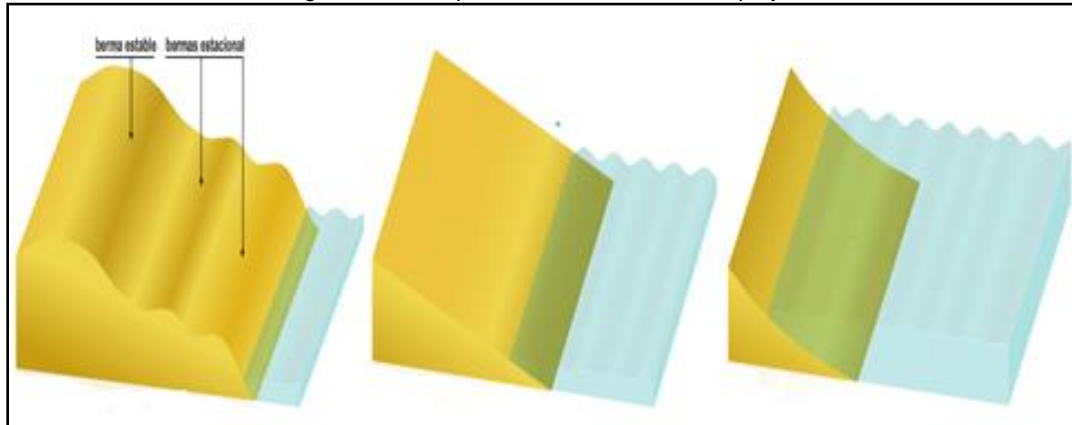
La erosión que sufren las playas se ha intensificado gradualmente por las intervenciones del ser humano sobre el litoral, este impacto es evidente cuando se observa el retroceso de la línea costera y la pérdida del volumen de arena que componen las playas. A continuación se describe el proceso de erosión que sufre una playa de acuerdo a Marcomini y López (2008).

Normalmente las playas en estado natural, presentan un perfil con grandes volúmenes de arena en la playa seca, zona que se caracteriza por presentar bermas estacionales y estables. Al comenzar la erosión, el ancho de la playa seca y las bermas estables disminuyen gradualmente y las bermas estacionales desaparecen de la morfología de la playa.

Al avanzar la erosión, el ancho de la playa seca disminuye drásticamente, desaparecen las bermas estables y el perfil de la playa se torna rectilíneo, quedando completamente expuesto a la acción del oleaje en época de temporales.

Finalmente cuando la playa llega al punto más crítico, el perfil de la playa se vuelve cóncavo, el sector de la playa seca desaparece casi por completo y las mareas alcanzan a llegar hasta el pie de la duna, cambiando completamente la morfología de la playa. En la Figura 5-11 se puede visualizar lo señalado.

Figura 5-11: Esquema de erosión sobre la playa.



Fuente: Marcomini y López (2006).

## 5.10 GESTIÓN DE LOS ESPACIOS COSTEROS

Continuamente se interviene el borde costero, donde se debe considerar tanto el factor económico y la postura de la sociedad frente al desarrollo de este tipo de obras. Además, se debe incluir un estudio detallado del sector costero donde se emplazará la estructura para disminuir los posibles impactos asociados a este tipo de construcción.

De acuerdo a lo que plantea Pilkey (1988) existen tres alternativas de gestión de la erosión de las costas. Estas alternativas son: (1) estabilización dura, (2) estabilización suave, y (3) retroceso y reubicación.

En pocas palabras, la estabilización suave se refiere principalmente a la reposición de la playa. Mientras que, la estabilización dura se refiere al emplazamiento de cualquier estructura "permanente" y dura con una ubicación fija. Por último, el retroceso o reubicación como su nombre lo indica, se refiere a la práctica de mover las estructuras producto del retiro de la costa.

Para la situación de la bahía de Valparaíso, en su gran mayoría corresponde a obras de estabilización dura, por lo que se debe considerar a los muros costeros como la principal estructura que interactúa con las playas que se estudiarán. Un muro es una obra que permite dividir o delimitar un espacio y para el caso de muro costero, se refiere a una obra que fracciona o define un sector costero (Dirección de Obras Portuarias, 2014).

## 5.11 INTERACCIÓN MURO-PLAYA

Existen numerosas opiniones sobre el efecto de los muros en las playas, pero para poder establecer una postura respecto a este tema se deben analizar los diferentes factores involucrados.

Como ocurre con todos los procesos costeros, la interacción entre los muros y la playa es extraordinariamente compleja. Además, la construcción de muros costeros involucra factores ambientales, económicos, políticos y de ingeniería. Por ello, los procesos físicos de la interacción del muro y de la playa deben ser bien comprendidos para evaluar el

desempeño relativo de los muros y medidas alternativas de estabilización de la costa. Aprovechando al máximo los datos disponibles para obtener orientación sobre el diseño más razonable de protección en tierra con el menor impacto posible en la zona litoral.

El documento de Pilkey (1988), tiene como tema principal el impacto de la estabilización dura y de las alertas sobre la calidad de las playas recreativas frente a los muros. En este informe se discuten los pros y los contras de la construcción de muros costeros, así como los argumentos sobre el papel activo del muro en las playas de la isla de Barrera en la Costa Este de los Estados Unidos. También considera el factor económico y la postura de la sociedad, entregando una visión más política de la estabilización costera.

En relación a lo anterior, (Kraus, 1988) tras el desarrollo de su artículo científico concluyó que se necesitaba más información para poder entender el efecto de los muros costeros en la playa.

### **5.11.1 ESTUDIOS DE LABORATORIO Y DE CAMPO.**

Se han realizado numerosos experimentos de laboratorio de modelos físicos para investigar la interacción entre los muros y la playa. La mayoría de los estudios de laboratorio, se realizaron utilizando un canal de olas e investigaron los procesos de transporte de agua y sedimentos en la costa. En esta sección, se revisarán principalmente experimentos de laboratorio de tipo cuantitativo.

Uno de los autores que realizó esta clase de ensayo fue Dorland (1940), que tras sus experimentos concluyó que la fuerza de la acción de las olas por sí sola, no provoca erosión delante de las paredes verticales, sin embargo, esta fuerza puede colocar el material en suspensión pudiendo ser transportado fácilmente por corrientes que de otro modo no causarían daños.

Por su parte los autores Chestnutt y Schiller (1971), encontraron que el escurrimiento local máximo ocurrió cuando el muro fue colocado en una región crítica del perfil de la playa situada en centro de la zona de resaca de la línea de la playa.

Hattori y Kawamata (1977) investigaron los cambios en una playa de pendiente arenosa en un tanque de 16 metros de largo, con y sin muro vertical. Estos autores encontraron que la existencia de una zona de surf es una condición necesaria para la recuperación de una playa de laboratorios erosionada y respaldada por un muro, de acuerdo con los resultados de Chestnutt y Schiller (1971). Hattori y Kawamata también comprobaron tras sus experimentos que la restauración de las condiciones de las olas para una playa de laboratorio respaldada por un muro era similar a las de la playa sin el muro.

Barnett (1987) también realizó experimentos en un canal de olas, realizando pruebas de playas con y sin muro. La posición horizontal del muro vertical fue variando en 3 ubicaciones, así como la altura de las olas, el período de las olas y la profundidad del agua. Este autor realizó numerosas conclusiones sobre sus experimentos, pero la más relevante fue que la configuración del perfil final fue notoriamente similar con y sin el muro, lo que propone que el proceso de transporte principal no está significativamente influenciado por el muro y que el proceso de recuperación es posible con la presencia de un muro.

Baba y Thomas (1987) describieron y evaluaron varios proyectos que involucraron diversos tipos y diseño de la evolución de los muros costeros. Aquí los autores entregan la siguiente conclusión: "Los muros construidos en la costa trasera con un frente a la playa dieron un mejor rendimiento que los construidos en la parte delantera (dentro de la zona de barrido)". Estos resultados están relacionados con experimentos de laboratorio que han establecido que, si una playa frente a un muro tiene una amplia zona de resaca, responde similar a una playa sin muro.

Kriebel, Dally y Dean (1986) y Kriebel (1987) informaron los resultados del monitoreo repetido de cinco perfiles en la cercanía de un muro expuesto de aproximadamente 7.500 metros de longitud en Clearwater, Florida. Como parte del estudio se analizaron dos perfiles situados frente al muro, uno que estaba a 30 metros de la pared y dos que estaban más abajo en un área de dunas reconstruidas. El volumen de arena perdida debido a la fuga en el dique fue aproximadamente igual al volumen erosionado en la playa adyacente sin un muro. Por lo tanto, las playas con y sin muros tenían magnitudes similares de transporte de sedimentos costa afuera bajo olas de tormenta erosiva. Entre los comentarios finales sobre los procesos de erosión y recuperación en las inmediaciones del muro, Kriebel señaló lo siguiente: "Esta erosión no parece ser más severa que en las playas adyacentes, sino más localizada y dramática. La presencia del muro expuesto tenía poco efecto en los procesos de recuperación".

Griggs y Tait (1988,) informaron los resultados de un estudio intensivo sobre cuatro pequeños muros de diferentes tipos en playas a lo largo de la bahía de Monterey, California, donde se realizaron inspecciones mensuales y semanales. Los hallazgos principales fueron: (1) La berma de verano de playas con muros desapareció antes con respecto a las playas adyacentes no estabilizadas, con la llegada de las tormentas de invierno; (2) La berma frente a un muro impermeable vertical se erosiona antes que la berma en una playa adyacente respaldada por un revestimiento inclinado permeable; (3) No hubo diferencias esenciales en los perfiles de playa frente a muros y en playas adyacentes sin estructuras de apoyo; (4) La reflexión de las olas y el embalse aceleraron el retroceso de la berma y el escurrimiento hasta 150 metros del muro; (5) La acumulación de primavera y verano de la berma procedió igual en las playas con y sin estructuras.

De acuerdo con el documento de Kraus (1988), los autores que se han mencionado anteriormente concluyen en sus experimentos que los muros no afectan la morfodinámica de las playas. A continuación, se presentarán algunos de los estudios donde los autores sí observaron la influencia de los muros en las playas que analizaron.

MacDonald y Patterson (1985) describieron el cambio de perfil de playa a lo largo de la ciudad balnearia de Gold Coast, Australia. El cambio en los perfiles a través del tiempo se utilizó para ilustrar los efectos de los muros y los proyectos de alimentación de las playas. Las investigaciones de perfil en la playa de Palm Beach indicaron que, aunque el ancho de la playa se ha reducido, la pendiente del perfil no ha experimentado cambios significativos durante el período 1966-1983, además la posición y el volumen de las barras fueron aproximadamente los mismos en 1980 y 1983. Los autores afirmaron que el "barranco" frente al muro a menudo llevaba una fuerte corriente de tierra y concluyeron que "su impacto en las playas depende en gran medida de su ubicación en el perfil de la playa. Cuanto más

al mar se construyen, mayor es su influencia y menos probable que se mantenga una playa utilizable".

Morton (1988) analiza la interacción de los muros y las playas para los eventos de tormenta y como un proceso a largo plazo a lo largo de la costa de Texas usando mapas topográficos y fotografías aéreas. De acuerdo a lo señalado por Kraus (1988), este autor ofrece la documentación más completa y de gran escala sobre los efectos de los muros en las playas que se encuentran en su revisión, e incluye información sobre el comportamiento de la playa antes de la construcción del muro. Los sitios de estudio incluyeron playas que son (a) relativamente estables, (b) ligeramente erosivas, y (c) moderadamente erosivas.

Morton descubrió que los muros aumentaban la magnitud y la tasa de erosión a largo plazo, con una erosión lateral mayor en los extremos descendentes de los muros que se extienden sobre o hacia la costa de la cara de la playa. En las playas con un suministro limitado de sedimentos, las barras de largo alcance migraron hacia tierra y el perfil se hizo más pronunciado. En las playas donde existió un suministro de sedimentos, se produjo la recuperación de las tormentas posteriores a eventos erosivos extremos y se discutieron cuatro etapas: acreción rápida de la parte delantera, crecida más lenta de la espalda, reconstrucción de dunas y colonización de la vegetación. En tal caso, los muros no retrasaron la recuperación de la berma (primera etapa) a su condición de pre-tormenta, pero las tres últimas etapas de recuperación fueron afectadas adversamente por los muros.

Silvester (1977) sugirió tras su investigación, que la reflexión de las olas en un muro incrementaría la movilización de los sedimentos y lo haría disponible para el transporte, por ejemplo, a través de una corriente a lo largo de la costa producida por la incidencia de olas.

Hanson y Kraus (1985, 1986) idearon una condición de frontera para un modelo numérico de cambio de la costa. El modelo numérico combinó un cálculo de onda (para estimar la tasa de transporte de arena en la costa) y un cálculo de la posición de la línea costera basado en la ecuación de conservación para el material de playa. Los autores presumieron que la arena se puede transportar a lo largo de la costa más allá de un muro, si existe una zona de oleaje frente a este muro. Esta suposición se basó en observaciones cualitativas de campo, estudios batimétricos y modelización numérica del cambio de playas en la cercanía de un muro de aproximadamente 2 [km] de longitud en Japón.

### **5.11.2 EFECTOS DE LOS MUROS EN EL PERFIL DE LA PLAYA**

Aunque existe un gran debate sobre la interacción de los muros y las playas, hay una amplia aceptación del concepto de participación activa del muro en la degradación de la playa. Respecto a lo señalado se puede mencionar que, en libros de ingeniería costera como el Shore Protection Manual (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, 1984) se sugiere la ocurrencia de mayores tasas de erosión frente a los muros y revestimientos. A continuación, se citan varios planteamientos de los autores frente a los posibles efectos de los muros en el perfil de la playa.

De acuerdo a Kraus (1988), un muro generará interacciones entre el agua y el sedimento que no existían en la playa originalmente y modificará el sistema de oleaje-corriente. Por lo tanto, se espera que la zona próxima a la costa en las cercanías de un muro costero esté

sometida a diferentes cambios a corto y largo plazo, a diferencia de que si la estructura no estuviera presente. Los efectos que se identifican son el tema principal de esta revisión.

Kraus (1988) identifica diferentes posibles efectos de los muros sobre las playas y los divide en dos grupos, uno relacionados a los potenciales efectos que se observan en una vista en planta de la playa y el otro se enfoca en los posibles efectos que tiene los muros sobre el perfil transversal de la playa.

De acuerdo a lo que plantea Pilkey (1988), hay tres maneras en que los muros podrían degradar o destruyen las playas recreativas. La primera es la construcción del muro dentro del sector de las líneas de marea alta y baja. Esta práctica da lugar a la pérdida inmediata de la mayor parte del valor recreativo de la playa.

La segunda forma en que los muros impactan negativamente sobre las playas es de forma pasiva. Al colocarse una estructura sobre una costa erosionada, se esperaría que la erosión natural continúe sin disminuir, dando como resultado una playa estrecha hacia el mar desde el muro. La tercera es que los muros son directamente responsables del aumento de las tasas de pérdida del material sedimentario en las playas debido a la intensificación de los procesos de la zona de surf y otros factores (erosión activa).

Pilkey (1988) realizó observaciones a través de encuestas sobre el nivel de estabilización en la Costa Este de Estados Unidos, con esta encuesta el autor intento cuantificar la relación entre la calidad de la playa (en términos de anchura de la playa seca) y el grado de estabilización dura. Los resultados documentan el estrechamiento esperado de la playa frente a los muros y revelan que cuanto más densa sea la estabilización, más estrecha será la playa.

Los autores Maurmeyer (1983), Walton y Sensabaugh (1979) han señalan que los requerimientos de arena de perfiles frente a una pared son significativos y se requiere arena externa para mantenerlos. Ambos artículos suponen que la arena se deriva de playas adyacentes, causando así más erosión en las playas adyacentes que si no hubiera ningún muro.

Silvester (1977), señala que: "la reflexión de las ondas en los muros aplica de forma oblicua y dobla la energía, por lo tanto acelera la transmisión del material hacia la costa". Además, señala que existen dos formas como el muro afecta la playa: la primera, erosión pasiva debido a las tendencias que existían antes de que el muro estuviera en su lugar, y la segunda corresponde a la erosión activa debida a la interacción del muro con los procesos costeros locales.

Basco (2006), en su artículo científico planteó los posibles efectos de muros costeros a playas adyacentes, señalando 9 posibles efectos de los muros sobre las playas, los cuales se presentan a continuación:

1. Causa socavamiento local:
  - a) Al pie del muro costero.
  - b) Al final del muro costero.

2. Causa que la playa frente al muro costero disminuya su ancho.
3. Causa la aceleración de la tasa de erosión de la playa.
4. Causa erosión de la plataforma descendente.
5. Causa retraso en la recuperación de la playa después de condiciones extremas de oleaje.
6. Provoca que la pendiente del perfil de la playa aumente.
7. No sirve para nada si se ubica bien atrás en una playa estable.
8. Causa un aumento en la velocidad del transporte de sedimentos a lo largo de la costa.
9. Causa el transporte de sedimento a gran distancia de la costa.

Del análisis realizado en los diferentes estudios sobre esta temática (De la Peña, 2010), señala que los siguientes efectos serán los más esperados tras la ubicación de un muro en una playa.

1. Socavamiento.
2. Reflexiones.
3. Cambio de recuperación de una playa tras un temporal.
4. Cambio en la forma del perfil.
  - a) Cambio de pendiente.
  - b) Cambio de la situación de la pendiente.
5. Cambios de granulometría de la arena.
6. Cambios en el transporte de sedimentos.
7. Reducción de playa seca.

Los principales efectos que se detallan son el socavamiento y la reflexión, ya que los otros efectos son más posibles de evidenciar.

El oleaje al interactuar continuamente con un muro genera una brecha frente a este, ya que al romper las olas contra el muro libera mucha energía y turbulencia que pone en suspensión el material sedimentario de la base de la estructura. Este proceso se conoce como socavamiento y depende fundamentalmente de la altura de ola, distancia a la orilla, inclinación y permeabilidad del muro (De la Peña, 2010).

El fenómeno de reflexión se relaciona con el socavamiento, ya que puede generar socavación, pero también cuando el oleaje presenta una intensidad y reflexión importante provoca cambios en el perfil de la playa. Generando suspensión del sedimentario más fino en las zonas cercanas al muro costero, que al contar con las condiciones de corrientes necesarias tanto longitudinales como transversales, provocan un movimiento de las

partículas más finas hacia otras zonas y un incremento en el tamaño medio de la arena. Cuando las olas encuentran un obstáculo (muro, espigón, etc.), éstas son reflejadas, es decir, re-enviadas en la dirección exactamente opuesta de la dirección de incidencia. Si las olas atacan oblicuamente el obstáculo, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión (De la Peña, 2010).

También, se han identificado efectos de los muros en la vista en planta de la playa, pero no se estudian en detalle debido a que la información con la que se cuenta está relacionada solamente al perfil transversal de la playa.

### **5.11.3 UBICACIÓN DEL MURO DENTRO DE LA PLAYA**

Tras la revisión bibliográfica se estableció que diferentes autores (MacDonals y Patterson, 1985; Baba y Thomas, 1987; Hattori y Kawamata, 1977) señalan después de sus experimentos que la ubicación del muro dentro de la playa es un factor importante en la determinación de la influencia de estas obras en la morfodinámica.

En relación a lo anterior, los autores MacDonald y Patterson (1985) tras su estudio sobre el cambio del perfil de playa concluyeron que: "el impacto de los muros en las playas depende en gran medida de su ubicación en el perfil de la playa. Cuanto más al mar se construyen, mayor es su influencia y menos probable que se mantenga una playa".

Baba y Thomas (1987) también señalan que: "Los muros construidos en la costa trasera de la playa dieron un mejor rendimiento que las construidas en la parte delantera (dentro de la zona de ascenso y descenso del oleaje)". Estos resultados están relacionados en que, si una playa frente a un muro tiene una amplia zona de resaca, responde similar a una playa sin muro. Autores como Chestnutt y Schiller (1971), Hattori y Kawamata (1977), Barnett (1987), han entregado conclusiones similares tras sus experimentos de laboratorio y en el caso de observaciones de campo, Berrigan (1985), MacDonald y Patterson (1985) han planteado conclusiones semejantes.

Las posturas que plantean estos autores permiten apoyar lo observado en los sectores de estudio y que identifica la ubicación del muro como un factor determinante en el nivel de influencia que tendrían los muros en las playas.

## 6 REGISTROS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

### 6.1 LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES

El levantamiento consiste en registrar mensualmente las variaciones horizontales y verticales de los perfiles transversales de las playas en estudio. Utilizando la medición de perfiles por medio del método de Emery (1961).

A continuación, se presentan la referencia en planta de los perfiles transversales que se han establecido a lo largo de cada una de las playas analizadas.

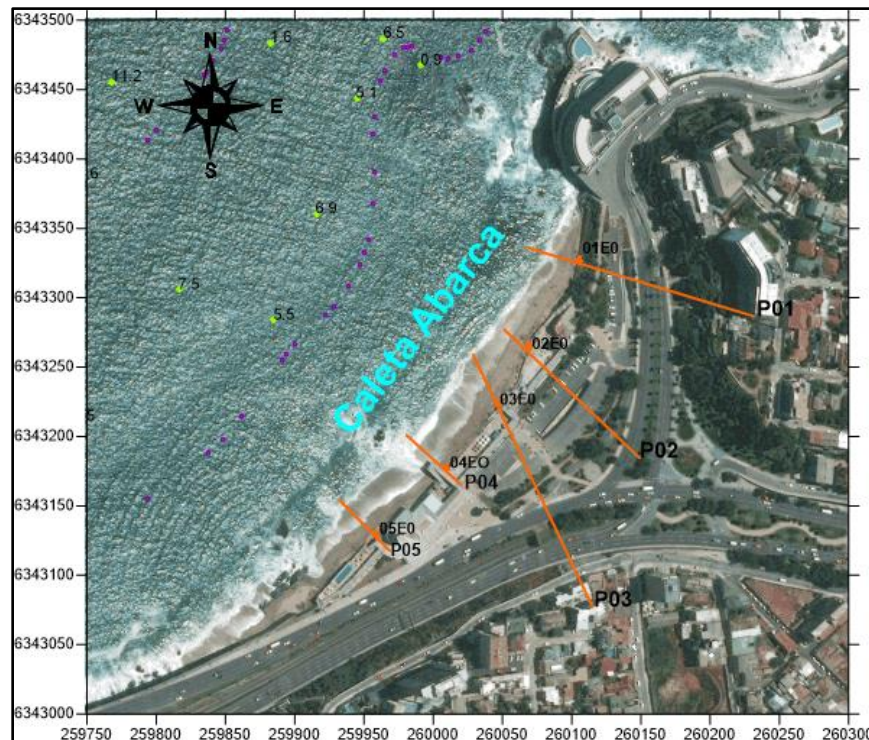
#### 6.1.1 PERFILES EN PLAYA CALETA ABARCA

En playa Caleta Abarca se obtuvieron 5 perfiles transversales, donde se estableció su estación inicial en el borde del muro sobre el cual se encuentran los paseos para ingresar a la playa.

La selección del número de perfiles y ubicación de ellos se ha establecido con anterioridad en los proyectos de título de Frías (2017) y Gálvez (2017), donde se da una explicación a esto.

A continuación, en la Figura 6-1 se presenta una imagen con vista en planta de la ubicación inicial de los perfiles y sus orientaciones transversales correspondientes, junto con las referencias físicas para establecer su alineación.

Figura 6-1: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Caleta Abarca.



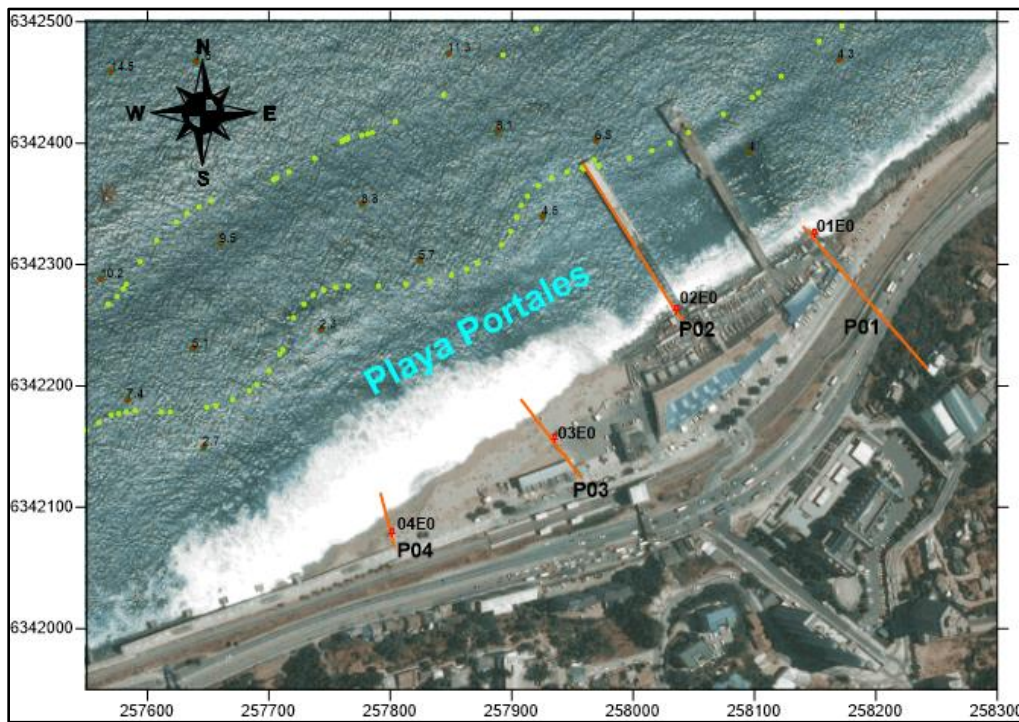
Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2 PERFILES EN PLAYA PORTALES

En la playa de Portales se obtuvieron 4 perfiles transversales, de los cuales sólo se analizará el comportamiento de dos de ellos y corresponden al perfil nº 3 y nº4, ya que en el perfil nº1 la presencia de roqueríos impide su medición y las obras de reparación del muelle antiguo imposibilitaron la medición del perfil nº2 por más de un año. Se establecieron las estaciones de inicio en el borde del muro sobre el cual se encuentra el paseo Wheelright y los accesos para ingreso a la playa.

En la Figura 6-2 se presenta una imagen con vista en planta de la ubicación inicial de los perfiles y sus orientaciones transversales correspondientes, junto con las referencias físicas para establecer su alineación.

Figura 6-2: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Portales.



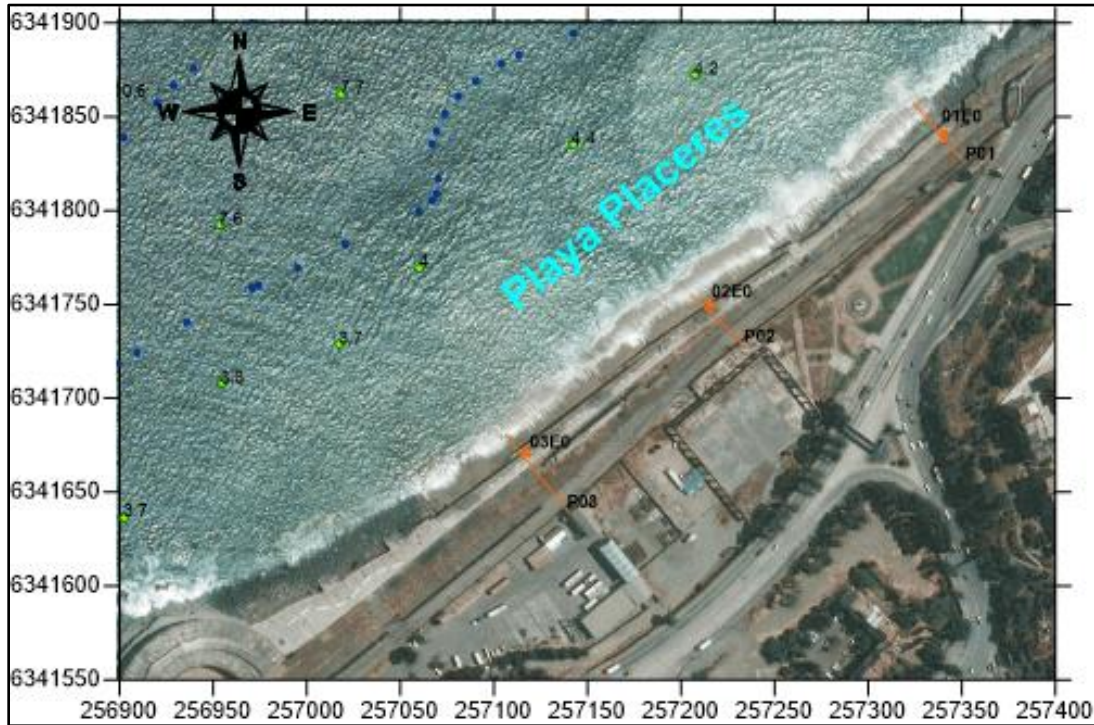
Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.3 PERFILES EN PLAYA PLACERES

En la playa Placeres se obtuvieron 3 perfiles transversales, donde se estableció su estación inicial en el borde del muro sobre el cual se encuentra el paseo Wheelright y los accesos para ingreso a la playa.

En la Figura 6-3 se presenta una imagen en planta de la ubicación inicial de los perfiles y sus orientaciones transversales correspondientes, junto con las referencias físicas para establecer su alineación.

Figura 6-3: Orientación perfiles transversales junto con las referencias físicas para establecer su alineación, Placeres.



Fuente: Elaboración propia.

## 6.2 DATOS DEL LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES

Para los fines de este estudio se realizará una comparación de la evolución morfodinámica de las playas Placeres, Portales y Caleta Abarca, a través del análisis de las mediciones de los perfiles transversales realizados durante los años 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017. Estas campañas se realizaron mensualmente, y antes y después de un evento extremo.

Para el caso de las playas Placeres y Portales, las campañas de medición se iniciaron en octubre del año 2014 y aún se continúan realizando, pero para este estudio sólo se consideran las mediciones hasta finales del año 2017.

Para la playa Caleta Abarca, las campañas de medición se iniciaron en abril del año 2013 y aún se continúan realizando, pero sólo se consideran las mediciones hasta finales del año 2017.

En Anexos, se presentan tablas con las campañas de medición que se analizaron para el estudio de las playas señaladas, de la Tabla 14-10 a la Tabla 14-12.

### 6.3 FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA DE GOOGLE EARTH

Se cuenta con fotografías obtenidas de Google Earth entre el periodo de 2003 hasta fines del año 2017, para el caso de las tres playas estudiadas.

Estas fotografías permitirán obtener datos relacionados al ancho del perfil transversal desde el año 2003 en adelante. Con esta información se puede contar con datos anteriores al periodo de medición en terreno y al contrastar esta información con las mediciones, se puede conocer el comportamiento de las playas en un periodo mayor de tiempo, ya que la desaparición de estos espacios litorales está asociada a procesos de largo plazo.

### 6.4 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE LÍNEA DE AGUA

A continuación, se presentan algunos gráficos obtenidos tras el cálculo del nivel de línea de agua de los perfiles medidos.

#### 6.4.1.1 NIVEL DE LÍNEA DE AGUA: PLAYA PORTALES

En la Tabla 6-1 se presentan los niveles de línea de agua obtenidos para cada uno de los perfiles de la playa Portales.

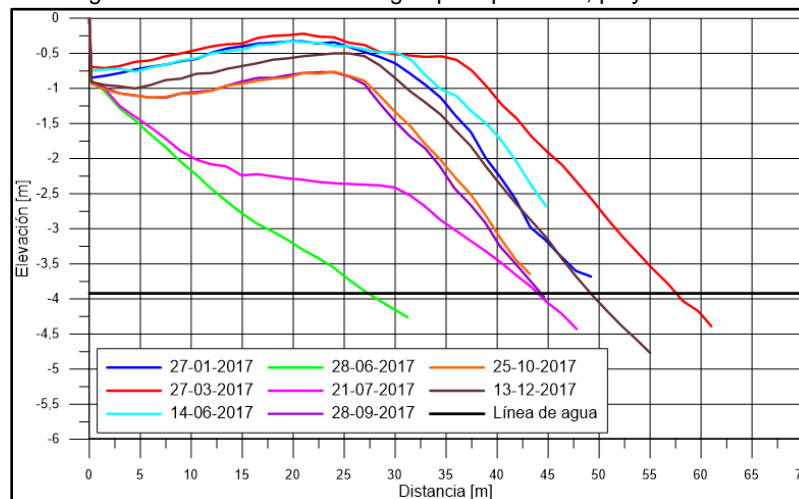
Tabla 6-1 Valores del Nivel de línea de agua para los perfiles en playa Portales.

Playa Portales	
Nivel Línea de Agua	
Perfil n°3	-3,92 [m]
Perfil n°4	-5,55 [m]

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil n°3 de la playa Portales se obtuvo un nivel de línea de agua correspondiente a 3,92 [m]. En la Figura 6-4 se puede apreciar el nivel de línea de agua graficado junto a los diferentes perfiles obtenidos de las mediciones que se llevaron a cabo durante el año 2017.

Figura 6-4: Nivel de línea de agua para perfil n°3, playa Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

### 6.4.1.2 NIVEL DE LÍNEA DE AGUA: PLAYA PLACERES

En la Tabla 6-2 se presentan los niveles de línea de agua obtenidos para cada uno de los perfiles de la playa Placeres.

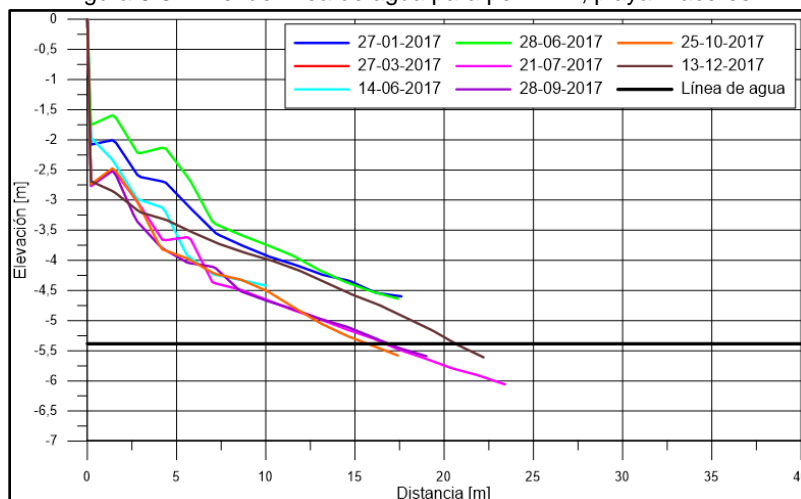
Tabla 6-2 Valores del Nivel de línea de agua para perfiles de playa Placeres.

Placeres	
Nivel de Línea de agua	
Perfil n°1	-5,38 [m]
Perfil n°2	-5,65 [m]
Perfil n°3	-5,46 [m]

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil n°1 de la playa Placeres se obtuvo un nivel de línea de agua correspondiente a 5,38 [m]. En la Figura 6-5 se puede apreciar el nivel de línea de agua graficado junto a los diferentes perfiles obtenidos de las mediciones que se llevaron a cabo durante el año 2017.

Figura 6-5: Nivel de línea de agua para perfil n°1, playa Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

### 6.4.1.3 NIVEL DE LÍNEA DE AGUA: PLAYA CALETA ABARCA

En la Tabla 6-3 se presentan los niveles de línea de agua obtenidos para cada uno de los perfiles correspondientes a la playa Caleta Abarca.

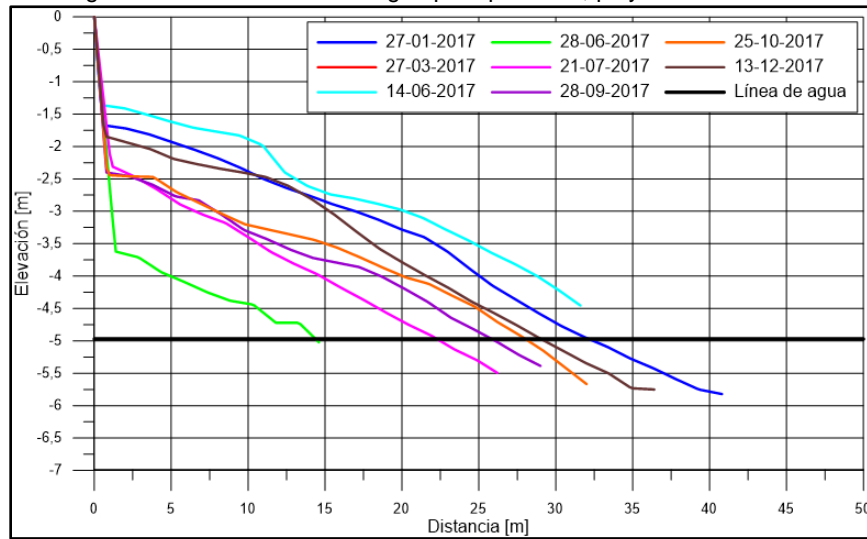
Tabla 6-3 Valores del Nivel de línea de agua para perfiles de playa Caleta Abarca.

Caleta Abarca	
Nivel Línea de agua	
Perfil nº1	-4,97 [m]
Perfil nº2	-4,88 [m]
Perfil nº3	-4,79 [m]
Perfil nº4	-4,86 [m]
Perfil nº5	-4,81 [m]

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil nº1 de playa Caleta Abarca se obtuvo un nivel de línea de agua correspondiente a 4,97 [m]. En la Figura 6-6 se puede apreciar el nivel de línea de agua graficado junto a los diferentes perfiles obtenidos de las mediciones que se llevaron a cabo durante el 2017.

Figura 6-6: Nivel de línea de agua para perfil nº1, playa Caleta Abarca.

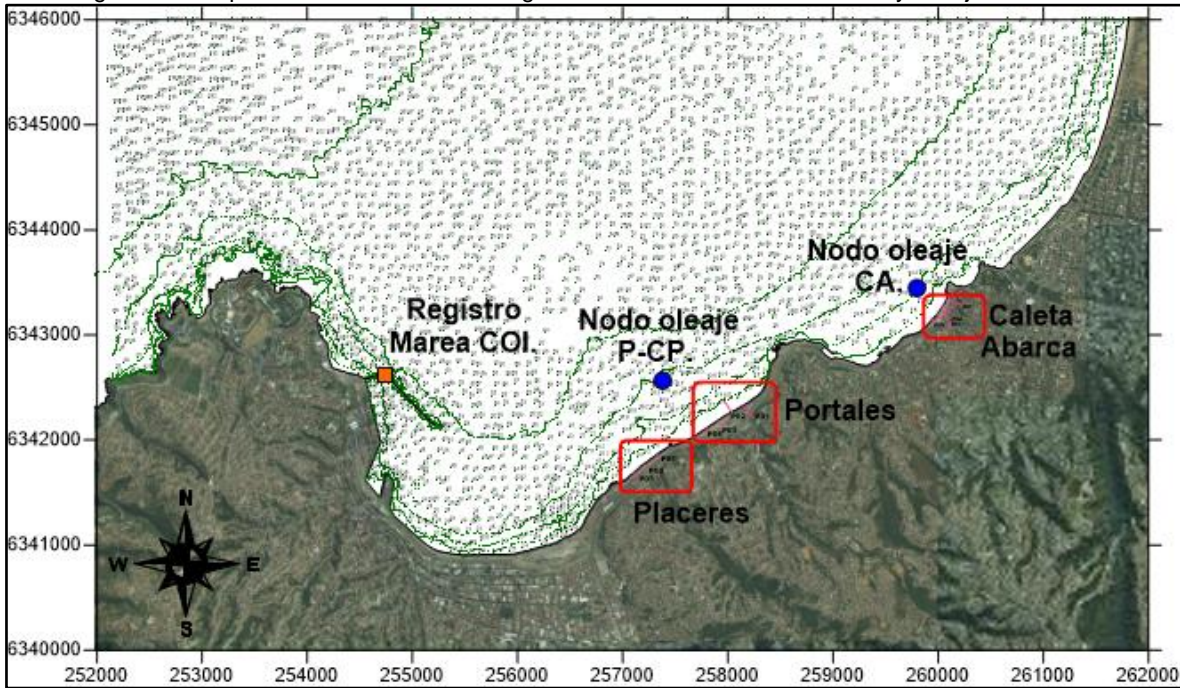


Fuente: Elaboración Propia.

## 6.5 CARACTERIZACIÓN DE LOS FACTORES HIDRODINÁMICOS

Se investigaron los factores hidrodinámicos que afectan la morfodinámica de las playas estudiadas, identificándose al oleaje y la marea como los principales fenómenos que modifican la topobatemetría de las playas. A continuación, se presenta en la Figura 6-7 la ubicación de los nodos en aguas someras donde se obtuvo los registros de oleaje y el punto de extracción de series de marea de la COI. Además, se entrega en la Tabla 6-4 la ubicación en coordenadas UTM de cada registro.

Figura 6-7: Mapa de la ubicación de los registros de la información de Marea y Oleaje analizados.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-4: Coordenadas de cada registro utilizado en el análisis de factores hidrodinámicos.

Tipo de Registro	Ubicación
Nodo Oleaje P-CP (Placeres - Portales)	6.342.574,76 N; 257.378,43 E.
Nodo Oleaje CA (Caleta Abarca)	6.343.452,05 N ; 259.793,02 E.
Registro Marea COI.	6.342.621,02 N ; 254.736,22 E.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.1 CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

Para conocer el oleaje característico de las playas estudiadas, se utilizaron los datos obtenidos del Atlas de Oleaje (Beyá, 2016). Se realizó una propagación del oleaje generado en aguas profundas hasta aguas someras frente a los sitios de interés.

Los nodos desde donde se obtuvo la información corresponden a puntos ubicados frente a cada sitio de interés, cuyas ubicaciones fueron presentados anteriormente. La extensión de estas bases de datos de oleaje es desde el año 1979 hasta fines del 2017, y su resolución es cada 3 horas para el periodo de 1979 hasta 2015 y de 1 hora para los años 2016 y 2017.

Desde una vista general, las costas de la zona central de Chile se caracterizan por tener un oleaje con condiciones muy variadas, siendo sus fuentes principales los oleajes de generación lejana provenientes del tercer y cuarto cuadrante.

El oleaje de generación lejana que proviene desde el Norte se caracteriza por presentar periodos que van desde los 16 a 24 segundos. Estas olas se presentan comúnmente en época estival en las costas chilenas. Mientras que, el oleaje que proviene del Sur se caracteriza por tener periodos más cortos de entre 10 a 14 segundos. Además de las condiciones de mar de fondo, las costas de la zona central se ven influenciadas por la generación local de oleaje con periodos bajos que van desde los 6 a 10 segundos (Gálvez, 2016).

#### **6.5.1.1 ESTUDIO DE OLEAJE LOCAL EN PLAYA CALETA ABARCA**

Esta playa presenta una ubicación geográfica dentro del sector sur de la Bahía de Valparaíso, y con cierta protección proporcionada por Punta Ángeles, que genera difracción y refracción en el oleaje proveniente desde el tercer cuadrante.

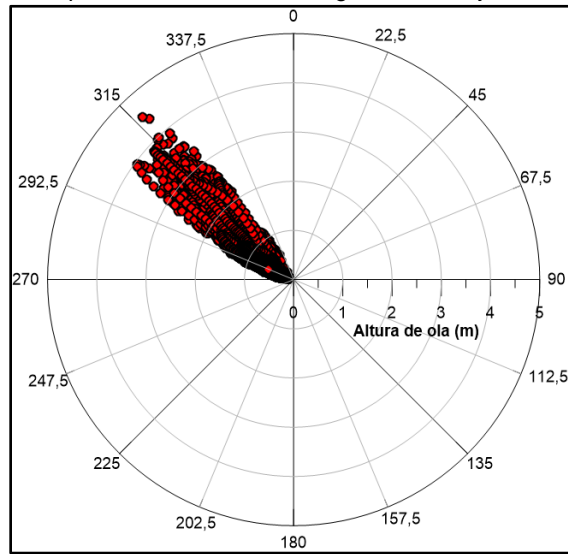
En general, las condiciones de oleaje reinante en la playa Caleta Abarca corresponden a oleaje con direcciones noroeste, y en caso de eventos extremos se presenta un oleaje con dirección del cuarto cuadrante (Gálvez, 2017).

Del procesamiento de los datos de oleaje para el periodo de 1979-2017, se muestra un predominio de olas con alturas significativas no superiores a 1,2 [m] (96,11% del registro) con peaks entre 3,64 [m] y mayores a 4 [m], con dirección predominante NW. Además, se exponen en el registro que las alturas de olas significativas presentan mayoritariamente periodos peak entre 10 y 20 [s] con un 86,88% de los datos, y las direcciones de procedencia corresponden a W (17,10%), WNW (38,29%) y del NW (43,88%).

Las condiciones de oleaje presentes en la zona de estudios corresponden principalmente a ondas de generación local. La presencia de oleaje Swell mostró una dirección asociada al cuarto cuadrante, debido a que la Bahía se encuentra abierta hacia dicha dirección.

A continuación, se muestra la Figura 6-8 que presenta la dispersión direccional de la data de oleaje y donde se puede observar lo señalado anteriormente. En el Anexo se encuentran las tablas de incidencia y gráficos de barras asociadas al estudio de oleaje para esta playa (Tabla 14-2 a la Tabla 14-4 y la Figura 14-2).

Figura 6-8: Dispersión direccional del registro de oleaje, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.1.2 ANÁLISIS DE LARGO PLAZO DE OLEAJE EN PLAYA CALETA ABARCA

Para realizar el análisis estadístico a largo plazo del oleaje presente en la playa de Caleta Abarca se utilizó el método de máximos anuales obteniéndose 39 valores (39 años de registro). Se realizó el análisis del registro para los métodos de distribución de Weibull, Gumbel y Log-normal, que permiten obtener las alturas significativas asociadas a diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ) 2, 5, 10, 25, 50, 75 y 100 años. En el Anexo se encuentran la Tabla 14-7 que contiene los datos seleccionados para realizar el análisis de máximos anuales. Posterior al análisis se obtuvieron los resultados de los coeficientes A y B para las diferentes distribuciones y sus respectivos factores de correlación ( $R^2$ ). En la Tabla 6-5 se muestran los resultados del análisis para la playa Caleta Abarca.

Tabla 6-5: Resultados de las distribuciones de Weibull, Gumbel y Log-normal, Caleta Abarca.

		k	A	B	R <sup>2</sup>
Weibull	Goda	0,75	0,331	2,608	0,806
		1	0,549	2,454	0,894
		1,4	0,847	2,229	0,953
		2	1,215	1,924	0,978
	Petrauskas	0,75	0,326	2,610	0,803
		1	0,547	2,453	0,893
		1,4	0,848	2,228	0,953
		2	1,216	1,924	0,979
Gumbel		0,442	2,751	0,973	
Log-normal		0,819	0,190	0,958	

Fuente. Elaboración propia.

Para poder calcular la altura significativa asociada a los distintos períodos de retorno seleccionados se escogió la distribución que posea el mayor factor de correlación. Para este caso, la distribución que posee el mayor factor de correlación es Weibull-Petrauskas k: 2 (Coef.  $R^2=0.979$ ), como se observa en la Figura 14-3 (ver Anexo).

Se calculó la estimación de la altura a partir de los períodos de retorno que se seleccionaron arbitrariamente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6-6. Además, se obtuvo un periodo de retorno de 92 años para la mayor altura del registro que corresponde a 4,51 [m] y que pertenece al evento del 8 de agosto del 2015. Para el caso del evento del 25 de junio de 2017, se obtuvo un periodo de retorno de 12 años.

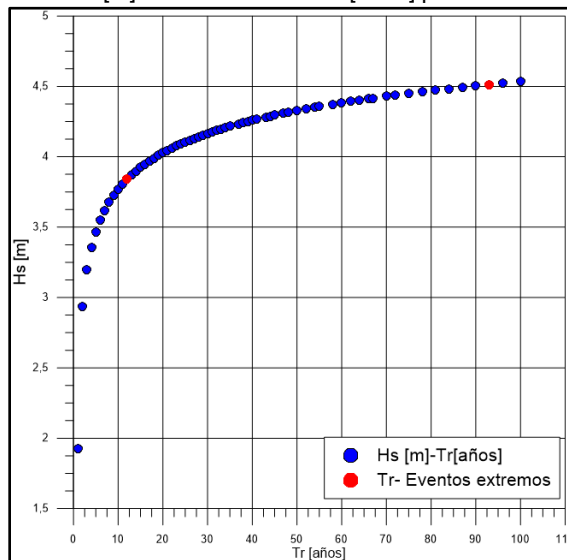
En la Figura 6-9 se presenta la relación entre altura de ola y periodo de retorno para esta playa.

Tabla 6-6: Resultados de Hs [m] esperados para Tr [años], Caleta Abarca.

Tr [años]	P ex.	P oc.	Hs [m]
1	1,000	0,000	1,92
2	0,500	0,500	2,94
3	0,333	0,667	3,20
5	0,200	0,800	3,47
7	0,143	0,857	3,62
10	0,100	0,900	3,77
12	0,083	0,917	3,85
25	0,040	0,960	4,10
50	0,020	0,980	4,33
75	0,013	0,987	4,45
92	0,011	0,989	4,51
100	0,010	0,990	4,53

Fuente. Elaboración propia.

Figura 6-9: Hs[m]-Periodo de retorno [años] para Caleta Abarca.



Fuente. Elaboración propia.

El comportamiento de la altura significativa va en aumento con el pasar de los años. Según el texto "Generation and Analysis of Random Waves" de Liu y Frigaard (2001) que indica que la validez de la función de distribuciones sólo aplica hasta tres veces el tamaño del registro de parámetros de resumen del modelo. En este caso se tiene un registro de 39 años de la altura de la ola y se podría estimar correlativamente el valor de las alturas hasta un periodo de retorno de 117 años. Por lo tanto, en este caso la validez del cálculo de las alturas de olas está dentro de lo señalado.

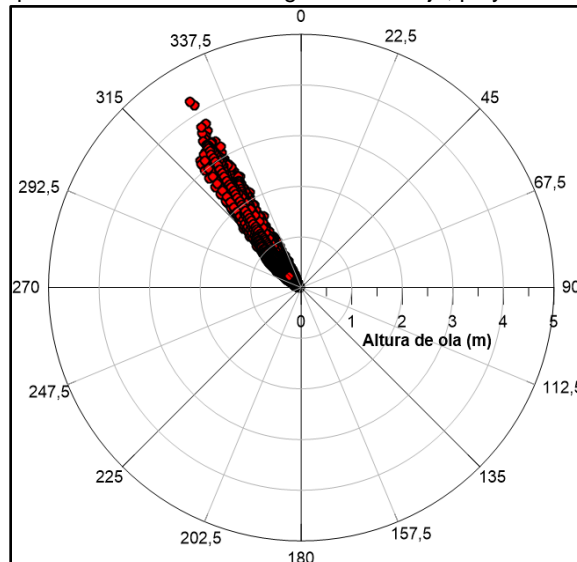
### 6.5.1.3 CONDICIONES DE OLEAJE EN PLAYA PLACERES Y PORTALES

Estas playas se ubican más al sur de la playa Caleta Abarca, dentro del sector sur de la Bahía de Valparaíso. En general, las condiciones de oleaje reinante en estas playas corresponden a oleaje con direcciones sur-oeste y para el caso de eventos extremos se presenta un oleaje proveniente del cuarto cuadrante.

Del procesamiento de los datos de oleaje para el periodo de 1979-2017, se muestra un predominio de olas con alturas significativas no superiores a 80 [cm] con peaks entre 3 [m] y mayores a 4 [m], con dirección predominante NW. Además, se exponen en el registro que las alturas de olas significativas presentan mayoritariamente periodos peak entre 10 y 20 [s] con un 89,37% de los datos, y las direcciones de procedencia corresponden a NW (87,76%) y WNW (8,77%).

A continuación, se muestra la Figura 6-10 que presenta la dispersión direccional de la data de oleaje y donde se puede observar lo señalado anteriormente. En el anexos se encuentran las tablas de incidencia y gráficos de barras asociadas al estudio de oleaje para esta playa (Tabla 14-4 a Tabla 14-6 y Figura 14-1).

Figura 6-10: Dispersión direccional del registro de oleaje, playas Placeres y Portales.



Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.1.4 ANÁLISIS DE LARGO PLAZO DE OLEAJE EN PLAYA PLACERES Y PORTALES.

Se realizó el análisis estadístico a largo plazo del oleaje presente en las playas de Placeres y Portales utilizando el método de máximos anuales obteniéndose 39 valores por los años de registros con los que se cuentan (1979-2017). En el análisis del registro se aplicaron los métodos de distribución de Weibull, Gumbel y Log-normal, que permiten obtener las alturas significativas asociadas a diferentes períodos de retorno (Tr). En el Anexo se encuentran la Tabla 14-8 que contiene los datos seleccionados para realizar el análisis de máximos anuales. Posterior al análisis se obtuvieron los resultados de los coeficientes A y B para las diferentes distribuciones y sus respectivos factores de correlación ( $R^2$ ). En la Tabla 6-7 se muestran los resultados del análisis para las playas señaladas.

Tabla 6-7: Resultados de las distribuciones de Weibull, Gumbel y Log-normal para Placeres y Portales.

		k	A	B	R <sup>2</sup>
Weibull	Goda	0,75	0,316	2,305	0,802
		1	0,521	2,159	0,883
		1,4	0,805	1,946	0,941
		2	1,156	1,655	0,967
	Petrauskas	0,75	0,311	2,306	0,800
		1	0,520	2,159	0,883
		1,4	0,805	1,940	0,941
		2	1,156	1,655	0,968
Gumbel		0,421	2,441	0,965	
Log-normal		0,204	0,966	0,966	

Fuente. Elaboración propia.

Para poder calcular la altura significativa asociada a los distintos períodos de retorno seleccionados se seleccionó la distribución que posea el mayor factor de correlación. Para este caso, la distribución que posee el mayor factor de correlación es Weibull-Petrauskas k: 2 (Coef.  $R^2=0.968$ ), como se observa en la Figura 14-4 (ver Anexo).

Se calculó la estimación de la altura a partir de los períodos de retorno que se seleccionaron arbitrariamente, cuyos resultados se presentan en la Tabla 6-8. Además, se obtuvo un período de retorno de 78 años para la mayor altura del registro que corresponde a 4,27 [m] y presentada por el evento del 8 de agosto del 2015. Esta información permite confirmar que es un evento excepcional. Para el caso del evento del 25 de junio de 2017, se obtuvo un período de retorno de 10 años.

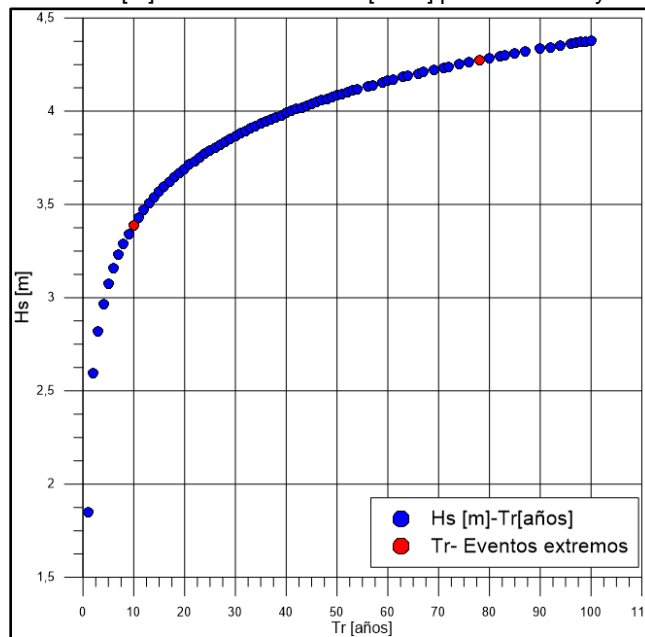
En la Figura 6-11 se presenta la relación entre altura de ola y período de retorno para estas playas.

Tabla 6-8: Resultados de Hs [m] esperados para Tr [años], Placeres y Portales.

Tr [años]	P ex.	P oc.	Hs [m]
1	1,000	1,000	1,85
2	0,500	0,500	2,60
3	0,333	0,667	2,82
5	0,200	0,800	3,07
7	0,143	0,857	3,23
10	0,100	0,900	3,38
25	0,040	0,960	3,79
50	0,020	0,980	4,08
75	0,013	0,987	4,26
78	0,013	0,987	4,27
100	0,010	0,990	4,38

Fuente. Elaboración propia.

Figura 6-11: Hs[m]-Periodo de retorno [años] para Placeres y Portales.



Fuente. Elaboración propia.

### 6.5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA MAREA EN LA BAHÍA DE VALPARAÍSO

El registro de mareas se obtuvo de la COI, y se sometió a 2 tipos de análisis: Armónico y No-Armónico, utilizando la publicación SHOA n°3009 que posee las tablas de marea para el año 2016.

Para el análisis armónico de la marea se cuenta con datos obtenidos del registro de la estación de monitoreo del nivel del mar proporcionado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, cuya estación se ubica frente a la bahía de Valparaíso. El procesamiento de la serie de tiempo desde un punto de vista armónico fue realizado con la rutina T\_Tide (Pawlowicz et al, 2002), y con las constituyentes determinadas se calculó el nivel de reducción de sondas (NRS) de acuerdo con lo indicado en las Instrucciones Hidrográficas N°5 (SHOA PUB. 3205, 2003).

#### **Constituyentes armónicas:**

Durante el período de mediciones seleccionado, que pertenece al periodo entre el primero de Noviembre de 2016 y el 30 de Noviembre de 2016, con datos cada 1 minutos. La superficie libre del mar fluctuó entre 1,66 [m] y 2,93 [m], que corresponde a un rango de 1,27 [m] de variación del nivel del mar como valor extremo sin relación temporal. En el análisis armónico realizado sobre las mediciones (30 días aproximadamente), se obtuvo un total de 35 constituyentes armónicos que explican el 95% de la varianza original. De estas constituyentes, las que más aportan en semiamplitud son: M2 (40,36 cm), S2 (18,35 cm), L2 (15,68 cm) y la N2 (12,85 cm). El listado de los constituyentes se encuentra en el Anexo en la Tabla 14-9.

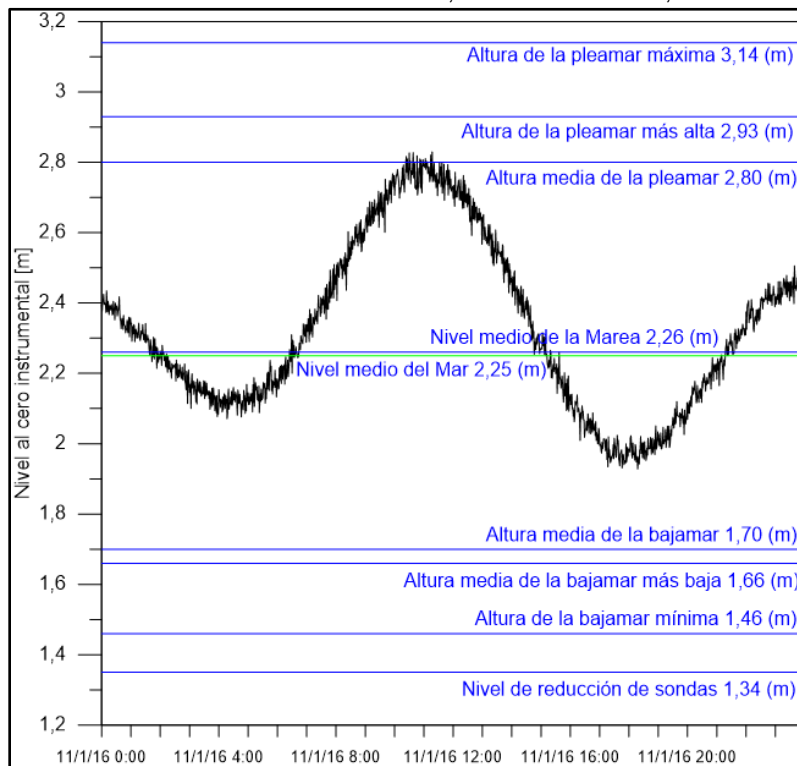
#### **Nivel de Reducción de Sondas (NRS):**

En base a los datos obtenidos de la COI se pudo obtener las amplitudes de las constituyentes armónicas M2, S2, N2, K1, O1 y el nivel medio del mar (2,25 m). Se calculó el Nivel de Reducción de Sonda (NRS), obteniéndose un valor de 1,36 [m] respecto del cero instrumental y de 0,91 [m] bajo el Nivel Medio del Mar, lo que concuerda con las tablas de marea del SHOA para noviembre de 2016.

#### **Rango de la Marea:**

El comportamiento no armónico de la marea se determinó mediante la identificación de los planos mareales descritos en la Instrucciones Oceanográficas SHOA N° 3202 (1999). El análisis no armónico de la marea, se realizó con los valores de las pleamares y bajamares registradas en el período de medición. También se obtuvieron los planos mareales referidos al NRS, los cuales se presentan en la Figura 6-12. El rango medio de las mareas en el periodo de registro fue de 1,10 [m].

Figura 6-12: Planos de referencia del nivel del mar, Noviembre de 2016, Bahía de Valparaíso.



Fuente: Elaboración propia.

## 6.6 EVOLUCIÓN ANUAL DE LOS PERFILES TRANSVERSALES

Con el seguimiento continuo de las playas a través del levantamiento de perfiles transversales se pueden conocer las variaciones en el volumen de arena frente a la acción del oleaje y determinar los ciclos de erosión y acreción característicos de cada sector. A continuación se presentan los procesos de acreción y erosión registrados para cada uno de los perfiles transversales estudiados.

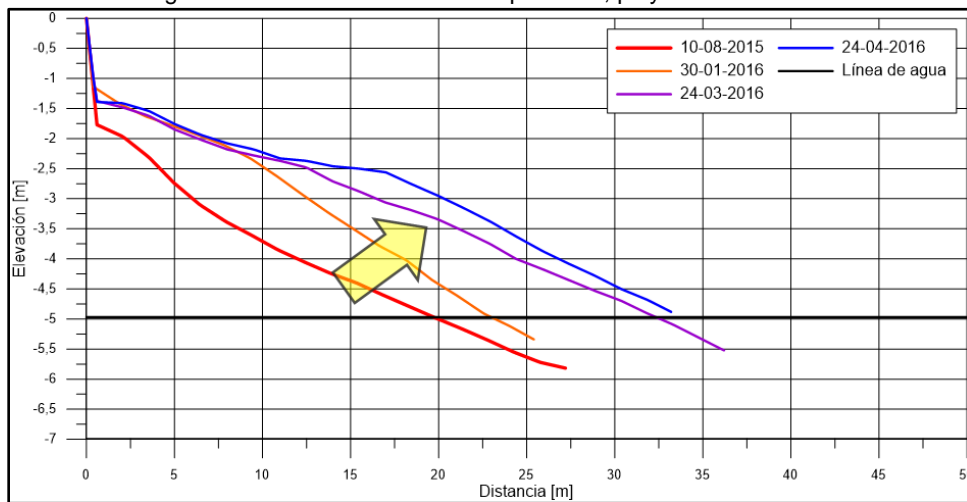
Se debe considerar que, con los escenarios actuales de eventos extremos ocurridos durante invierno y verano de los años 2015, 2016 y 2017, se han originado playas con mayor pendiente durante el transcurso del año. Esto no permite diferenciar claramente los ciclos de acreción y erosión de las playas.

### 6.6.1 CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA CALETA ABARCA

La playa de Caleta Abarca presenta un marcado ciclo de erosión y acreción. De los archivos de mediciones realizadas entre 2015 y 2017 se puede observar un ciclo de acreción del perfil transversal de la playa que va desde noviembre a finales de marzo. Por su parte, el ciclo de erosión en esta playa ocurre desde el mes de abril, encontrando las máximas erosiones a finales del mes de junio y hasta principios de agosto.

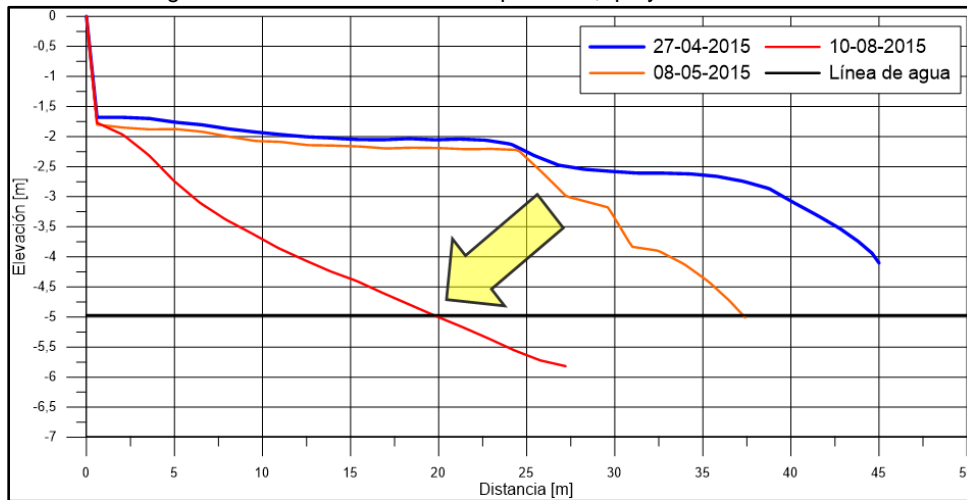
A continuación, se presenta la Figura 6-13, donde se evidencia el ciclo de acreción y posteriormente en la Figura 6-14 se observa el ciclo de erosión obtenido con las mediciones de uno de los perfiles transversales de la playa de Caleta Abarca durante los años 2015 y 2016.

Figura 6-13: Ciclo de acreción del perfil nº1, playa Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6-14: Ciclo de erosión del perfil nº1, playa Caleta Abarca.

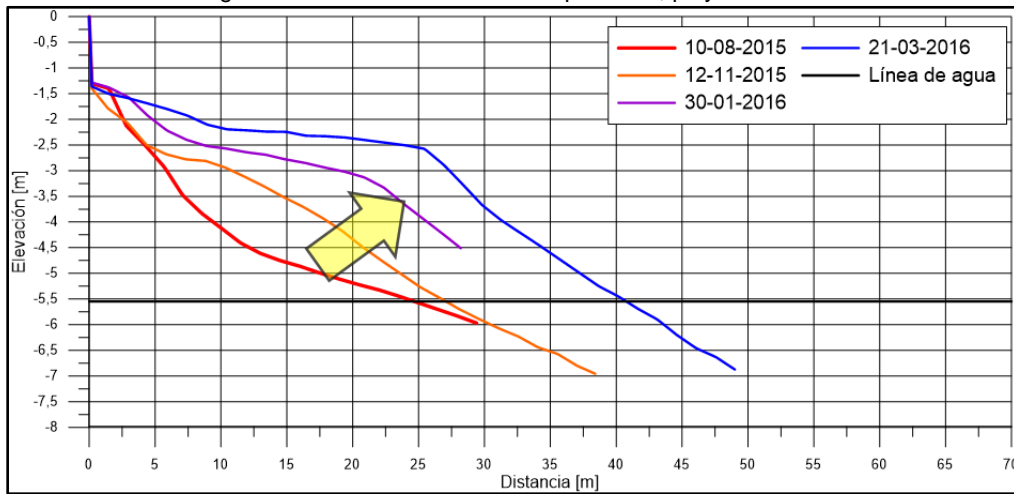


Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.2 CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA PORTALES

También la playa Portales ha presentado en los últimos años un característico ciclo de erosión y de acreción. De los archivos de mediciones realizadas entre los años 2015 y 2017 se puede observar un ciclo de acreción del perfil transversal de la playa que va desde noviembre a finales de marzo. A continuación, se presenta la Figura 6-15 donde se evidencia el ciclo de acreción obtenido con las mediciones del perfil n°4 de la playa Portales.

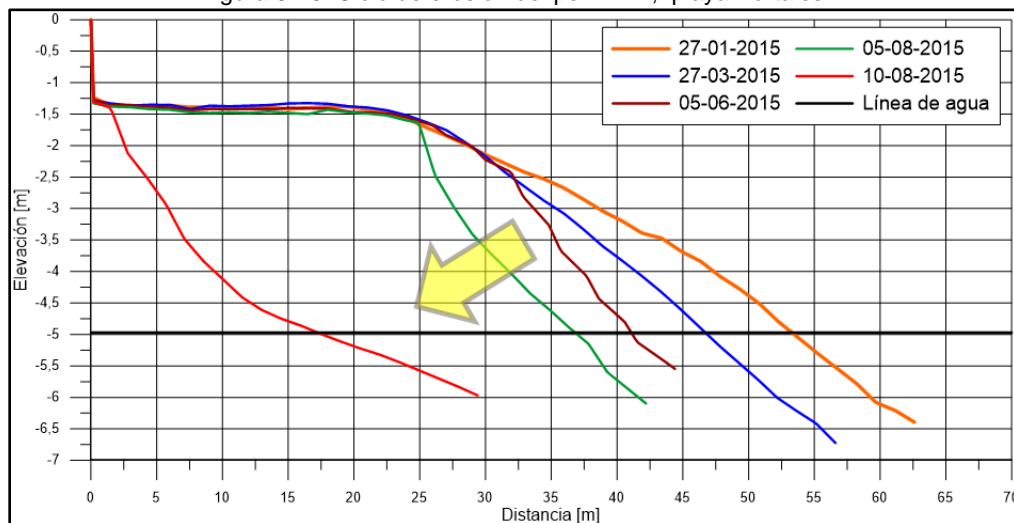
Figura 6-15: Ciclo de acreción del perfil n°4, playa Portales.



Fuente: Elaboración propia.

El ciclo de erosión en esta playa se puede observar en la Figura 6-16 y ocurre entre los meses de junio hasta mediados de agosto, pero se debe considerar que con los numerosos eventos extremos del último tiempo también existen periodos de erosión durante el verano.

Figura 6-16: Ciclo de erosión del perfil N°4, playa Portales.

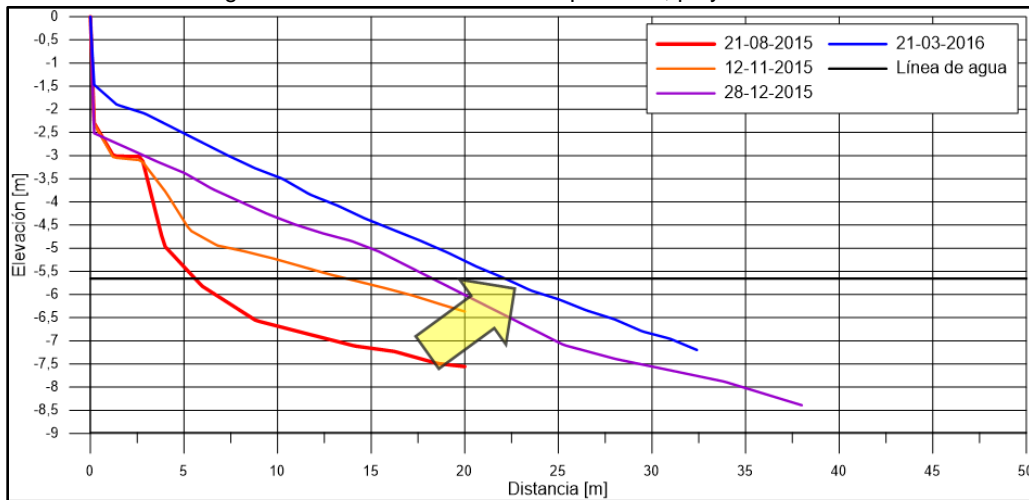


Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.3 CICLO DE ACRECIÓN Y EROSIÓN: PLAYA PLACERES

La playa Placeres presentaba un ciclo de erosión y de acreción característico. De los archivos de mediciones realizadas entre los años 2015 y 2017 se puede observar un ciclo de acreción del perfil transversal de la playa que va desde noviembre a finales de marzo. A continuación, se presenta la Figura 6-17 donde se evidencia el ciclo de acreción obtenido con las mediciones de uno de los perfiles transversales de la playa de Placeres.

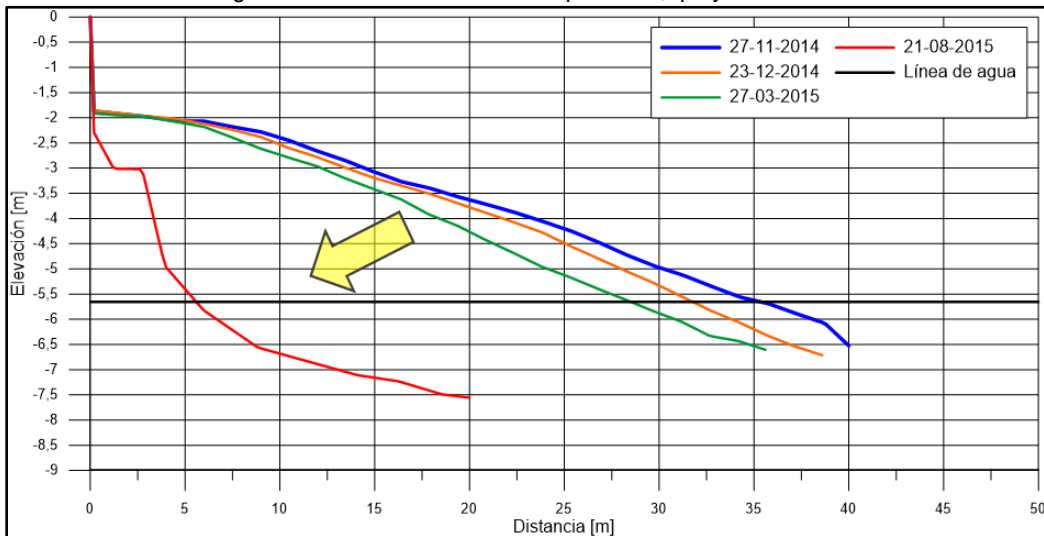
Figura 6-17: Ciclo de acreción del perfil n°2, playa Placeres.



Fuente: Elaboración propia.

El ciclo de erosión en esta playa (Figura 6-18) ocurre entre los meses de junio hasta mediados de agosto, pero se debe considerar que con los eventos extremos que han ocurrido durante el verano se generan erosiones no relacionadas con el ciclo normal de erosión.

Figura 6-18: Ciclo de erosión del perfil n°2, playa Placeres.



Fuente: Elaboración propia.

## 7 METODOLOGÍA

Para desarrollar este proyecto, se caracterizan los sectores en estudio mediante varias etapas que permiten abarcar todos los factores involucrados para determinar la influencia de los eventos extremos en las playas analizadas.

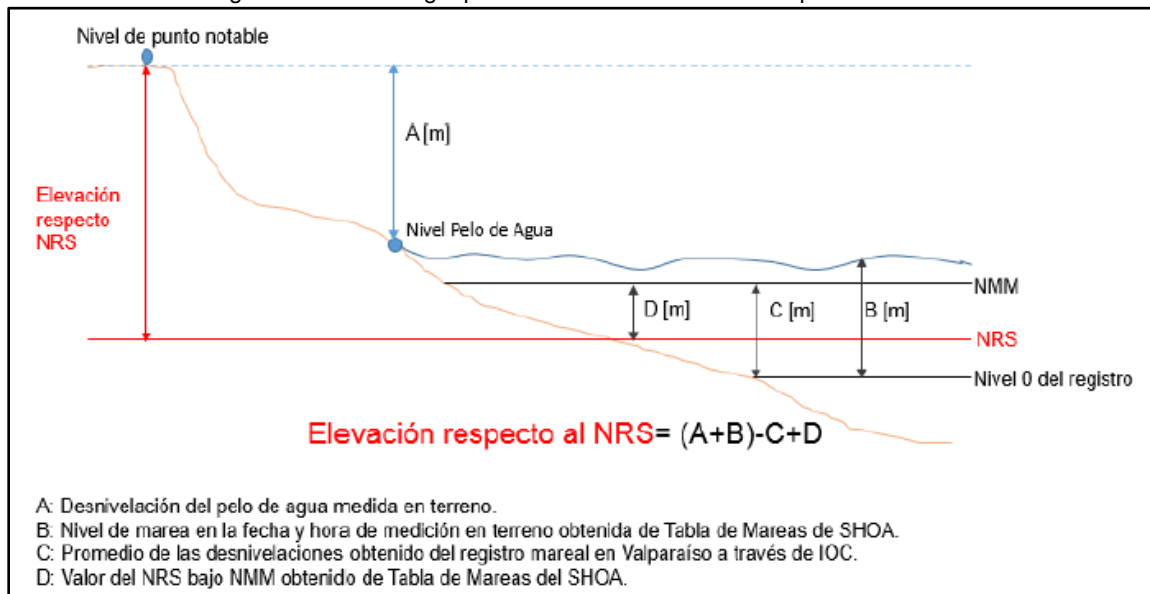
Estos procedimientos permitirán conocer la evolución en el tiempo de los perfiles transversales de las playas e identificar los cambios en los procesos de acreción y erosión en base a las mediciones con los que se cuenta. Además, con los datos de oleaje obtenidos frente a estos perfiles se podrá establecer la respuesta de la playa ante la acción de este factor hidrodinámico en este periodo de registros, y posteriormente asociar esto a la posible influencia conjunta de los eventos extremos y la existencia de muros en sectores de las playas estudiadas.

A continuación, se presenta cada uno de los procedimientos que se llevarán a cabo para cumplir con el objetivo general de este proyecto.

### 7.1 DEFINICIÓN DEL NIVEL DE LA LÍNEA DE AGUA

Se Utiliza la metodología propuesta por Frías (2016) para estimar la ubicación del arranque de los perfiles transversales respecto al nivel de reducción de sonda (NRS). Este método consiste en relacionar el nivel del mar de las playas bajo estudio con el nivel de marea en una ubicación cercana conocida, en este caso se utiliza la bahía de Valparaíso y cuyo nivel de marea se obtiene de las tablas de marea del año 2016 (Pub. SHOA N°3009, 2016).

Figura 7-1 Metodología para cálculo de la elevación respecto al NRS.



Fuente: Frías, 2016.

Para obtener el nivel al que se encuentra cada uno de los perfiles transversales de las playas estudiadas respecto al NRS, se establecen los siguientes parámetros de la Figura 7-1:

- Nivel Pelo de Agua: Equivale al punto donde se ubica la línea de agua al momento de la medición. Sin embargo, al ser variable su posición de acuerdo a cada medición realizada se debe establecer un promedio.
- Nivel Medio del Mar: Corresponde a la ubicación promedio de las desnivelaciones obtenidas del registro mareal de la COI.
- Nivel Punto notable del perfil: Corresponde al punto de arranque utilizado para referenciar cada uno de los perfiles.
- Elevación respecto NRS: Corresponde a la desnivelación del pelo de agua más el nivel de marea obtenido de la tabla de mareas, restando el Nivel Medio del Mar y finalmente sumando la desnivelación respecto al NRS en la bahía de Valparaíso también obtenido de la tabla de mareas del SHOA.

Se maneja datos del registro de la estación de monitoreo del nivel del mar facilitado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, para realizar el análisis armónico de la marea. El procesamiento de la serie de tiempo desde un punto de vista armónico como ya se señaló, fue realizado con la rutina T\_Tide (Pawlowicz et al. 2002), y con las constituyentes determinadas se calculó el nivel de reducción de sondas ( Figura 7-2) de acuerdo con lo indicado en las Instrucciones Hidrográficas N°5 (SHOA PUB. 3205, 2003).

Figura 7-2: Determinación del Nivel de Reducción de Sondas.

$$NRS = Z_0 - ( H_{M2} + H_{S2} + H_{N2} + H_{K1} + H_{O1} ) \quad \text{donde:}$$

$Z_0$	=	Nivel Medio de Mar
$H_{M2}$	=	Semi amplitud constituyente lunar principal semidiurno
$H_{S2}$	=	Semi amplitud constituyente solar principal semidiurno
$H_{N2}$	=	Semi amplitud constituyente lunar eclíptica mayor semidiurno
$H_{K1}$	=	Semi amplitud constituyente lunisolar declinacional diurno
$H_{O1}$	=	Semi amplitud constituyente lunar declinacional diurno

Fuente: Pub. SHOA N°3105.

El promedio de las desnivelaciones del nivel medio del mar (NMM) se obtuvo realizando un análisis no-armónico de la marea para un período de 30 días. En base a esta información se pudo establecer el nivel de reducción de sonda como el plano de referencia de los perfiles transversales en análisis y la línea de agua correspondiente a cada perfil.

## 7.2 ANÁLISIS DE LOS ANCHOS DEL PERFIL TRANSVERSAL OBTENIDO EN LAS MEDICIONES

Se realiza un análisis de los anchos del perfil transversal obtenidos en las mediciones y se hace una comparación entre las mediciones de cada mes entre los años 2013 al 2017, dependiendo de cuándo se inició la medición de cada playa.

Esto permitirá identificar cómo varían los anchos de los perfiles transversales a través de los años y cómo son afectados por los eventos que se han presentado durante el último tiempo.

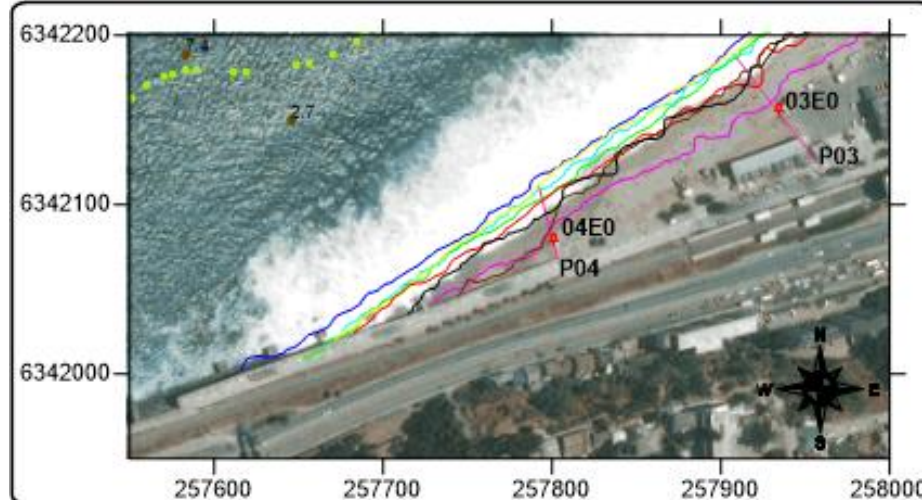
## 7.3 PROCESAMIENTO DE DATOS DE REGISTRO

### 7.3.1 DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE LA PLAYA EN BASE A FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS CON VISTA EN PLANTA

Las fotografías con vista en planta obtenidas de Google Earth, se georreferencian respecto a los puntos de arranques de cada perfil transversal analizado, lo que permitirá minimizar el error en el cálculo de la medición.

En la Figura 7-3 se presenta una fotografía de Google Earth georreferenciada y con los puntos de arranque de los perfiles de playa Portales, con esto se puede dibujar la línea de costa y obtener el ancho de cada uno de los perfiles.

Figura 7-3: Fotografía georreferenciada con los puntos de arranque de los perfiles en playa Portales.



Fuente: Elaboración propia.

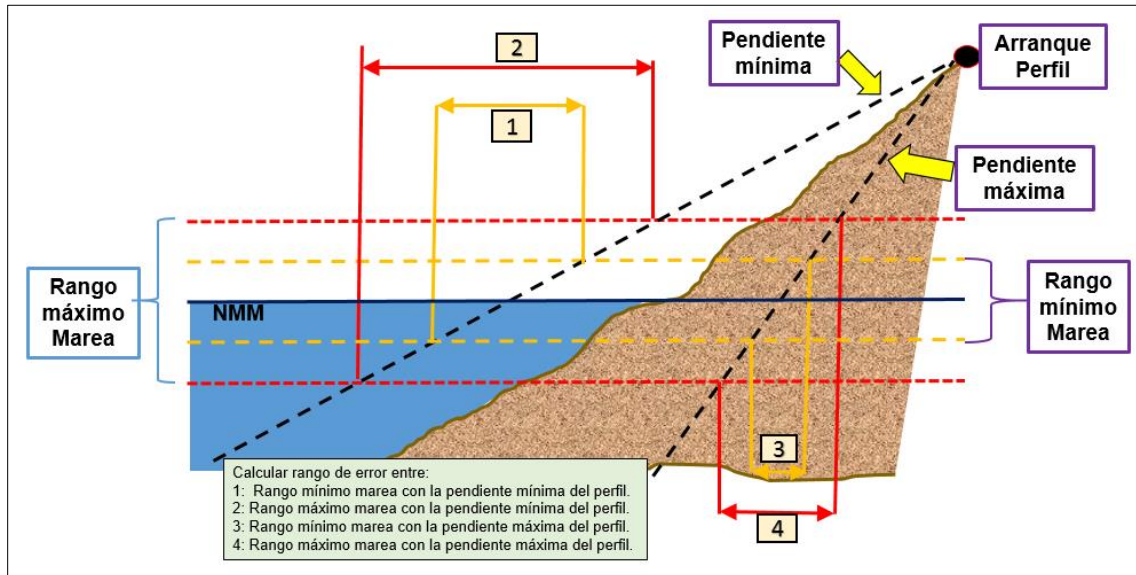
### 7.3.2 RECTIFICACIÓN DE DATOS OBTENIDOS EN FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA

Se amplía el periodo de análisis del comportamiento morfodinámico de las playas con el uso de fotografías con vista en planta, las fotografías con las que se cuenta corresponden al periodo entre el año 2003 hasta fines del 2017. Las mediciones se realizan desde el año 2013 en adelante, por lo que la incorporación de las fotografías con vista en planta permite ampliar en 10 años el periodo de análisis de las playas.

Se realiza una comparación de la información obtenida por medio de las fotografías con vista en planta y las mediciones realizadas durante el mismo periodo de tiempo, con la finalidad de establecer los márgenes de error que pueda existir entre estas dos mediciones. Los errores señalados están asociados a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y a que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar la condición de marea presente en la fotografía.

De los perfiles transversales medidos se obtiene una pendiente máxima y mínima, y en conjunto se calcula el rango máximo y mínimo de marea, con esto se establecerán los posibles errores asociados a la medición obtenida de las fotografías con vista en planta. Los valores se consiguen de la intersección del perfil con pendiente mínima y las líneas perpendiculares que corresponden al rango máximo y mínimo de marea (1 y 2 del esquema), lo mismo se aplica para el caso del perfil con pendiente máxima (3 y 4 del esquema). A continuación en la Figura 7-4 se presenta una gráfica representativa de lo señalado.

Figura 7-4: Esquema para obtener los rangos de error asociados a la pendiente del perfil y el rango de marea.



Fuente: Elaboración propia.

El rango mínimo de error puede ser explicado por la marea, mientras que el rango máximo de error se explica al considerar que al momento de la toma de la fotografía se presentaba el máximo rango de marea. Por último, los valores que sobrepasen el error máximo su explicación se asocia a la ocurrencia de condiciones extremas de oleaje de corto plazo.

### **7.3.3 DETERMINACIÓN DE LOS ANCHOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE CADA AÑO**

Se procesa la información correspondiente a los anchos obtenidos en las mediciones en terreno con el objetivo de conocer el comportamiento de los máximos y mínimos alcanzados durante cada año. Esto permitirá conocer el efecto sobre las playas que han tenido los numerosos eventos extremos que se han presentado durante los últimos años.

Además, se comparan los anchos máximos y mínimos anuales de las mediciones con los valores obtenidos de las fotografías con vista en planta. Se realiza esta comparación con el objetivo de confirmar que la información obtenida en las fotografías de Google Earth se encuentra dentro de los rangos establecidos.

### **7.4 ANÁLISIS DE DATA DE OLEAJE Y CORRELACIÓN CON LOS PROCESOS DE EROSIÓN y ACRECIÓN REGISTRADOS**

Se procesa la data obtenida del Atlas de Oleaje (Beyá, 2016), con el objeto de relacionar eventos extremos a procesos de erosión y acreción registrados a través de las mediciones de perfiles transversales. De acuerdo, a lo señalado en el apartado correspondiente a la propagación del oleaje, se entregaron los datos de oleaje en los puntos de control frente a las playas estudiadas.

Se utiliza la metodología de Rangel y Anfuso (2011) para identificar cada una de las tormentas presentes en el periodo de medición y se aplicó el índice de tormenta de Dolan y Davis (1992) para clasificar cada una de ellas.

Se establece arbitrariamente que el valor de corte para la duración de las tormentas estará asociado al tiempo durante el cual se supera el umbral de altura que se determinó en 0,7 [m] y para la identificación de cada evento extremo, se estableció un umbral de 1 [m], ya que con estos valores es posible identificar eventos extremos según las características de la zona.

### **7.5 ANÁLISIS DE LOS EVENTOS EXTREMOS QUE SE ESTUDIARÁN**

Se identifican los eventos extremos más erosivos y que han producido daños considerables sobre la morfodinámica de las playas bajo estudio.

Se realiza un análisis respecto a las condiciones de oleaje que presentó el evento (altura de ola, periodo peak y dirección de incidencia). Además, se estudia la serie de marea durante el desarrollo de cada uno de los eventos seleccionados.

## **8 RESULTADOS**

De la información con la que se cuenta se obtuvieron diferentes gráficas que permiten estudiar el comportamiento de las playas a través de los últimos años y cómo son afectadas por diferentes factores.

### **8.1 EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA DE LAS PLAYAS**

A continuación se presentan los resultados de la evolución morfodinámica anual de las playas caracterizadas por su ancho.

#### **8.1.1 ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA PORTALES**

En la Figura 8-1 se presenta el ancho obtenido en cada una de las mediciones realizadas en el perfil nº3 de playa Portales en el transcurso de los años de medición, desde el 2014 hasta finales de 2017.

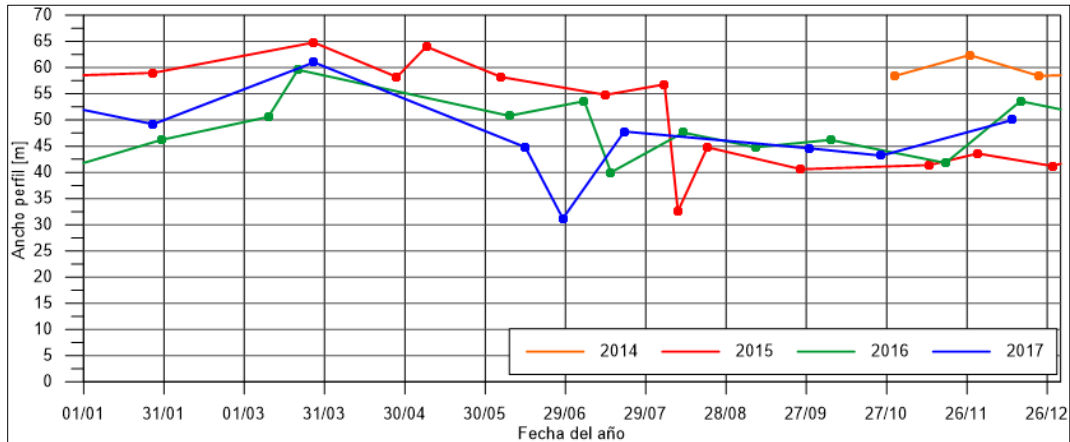
Al analizar los anchos medidos en el perfil nº3 de esta playa, se observa que los máximos se encuentran entre los meses de noviembre a marzo y los mínimos se presentan durante los meses de junio y agosto, dependiendo de la fecha en la cual ocurra el máximo evento erosivo característico de invierno.

Los eventos más erosivos se presentan en la época de invierno, durante el 2015 sucedieron las condiciones de oleaje con el mayor daño erosivo, que se presentaron el 8 de agosto y generaron un retroceso aproximado del ancho del perfil de 24 [m]. Para el año 2016 la erosión máxima ocurre tras el evento del 13 de julio, donde el perfil retrocedió sobre 7 [m]. Y por último, durante el 2017 el evento que produjo una erosión severa fue el ocurrido el 25 de junio y el retroceso que provocó fue de 21 [m].

Al realizar una comparación interanual se puede señalar que, el perfil presentó un retroceso considerable posterior al evento del 8 de agosto del año 2015, su recuperación es importante en un periodo de 10 días, pero no logra alcanzar el mismo ancho que presentaba en el verano del año 2015. Esto se observa a lo largo de los últimos años, ya que los anchos medidos antes de este evento se mantuvieron sobre los 54 [m], mientras que posterior al evento y durante ese año presenta valores entre los 32 y 45 [m].

Además, se puede apreciar que el evento del 25 de junio del 2017 tuvo efectos erosivos levemente mayores a los generados por el evento del 8 de agosto del año 2015 y que hasta fines del 2017 el perfil aún no se ha podido recuperar.

Figura 8-1: Ancho del Perfil n°3 - Portales, mediciones entre 2014- 2017.



Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil n°4 (Figura 14-26, ver Anexo), también se observa un comportamiento similar al presentado por el perfil n°3, luego del evento de agosto del año 2015. Al realizar una comparación interanual se puede señalar que, el perfil presentó un retroceso considerable posterior al evento del 8 de agosto del año 2015, su recuperación es más lenta que lo presentado por el perfil n°3, también generó que no alcanzara los mismos anchos que presentaba en el verano del año 2015. Esto se observa a lo largo de los últimos años, ya que los anchos medidos antes de este evento se mantuvieron sobre los 35 [m], mientras que posterior al evento presenta valores entre los 19 y 34 [m].

Al analizar los anchos medidos en el perfil n°4 de esta playa, se observa que los máximos se encuentran entre los meses de noviembre a abril y los mínimos se presentan durante los meses de junio y agosto, estos ciclos se asocian a la fecha en la cual ocurra el máximo evento erosivo característico de invierno.

Al igual que en el perfil n°3, se identificó que durante el 2015 las condiciones de oleaje con el mayor daño erosivo se presentaron el 8 de agosto, generando un retroceso aproximado del ancho del perfil de 14 [m]. Para el año 2016 la erosión máxima ocurre tras el evento del 13 de julio, donde el perfil retrocedió sobre 6 [m]. Y por último, durante el 2017 el evento que produjo una erosión severa fue el ocurrido el 25 de junio y el retroceso es de 18 [m], lo que permite confirmar que el evento del 2017 produjo daños considerablemente mayores a los presentados por el evento del 2015.

### 8.1.2 ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA PLACERES

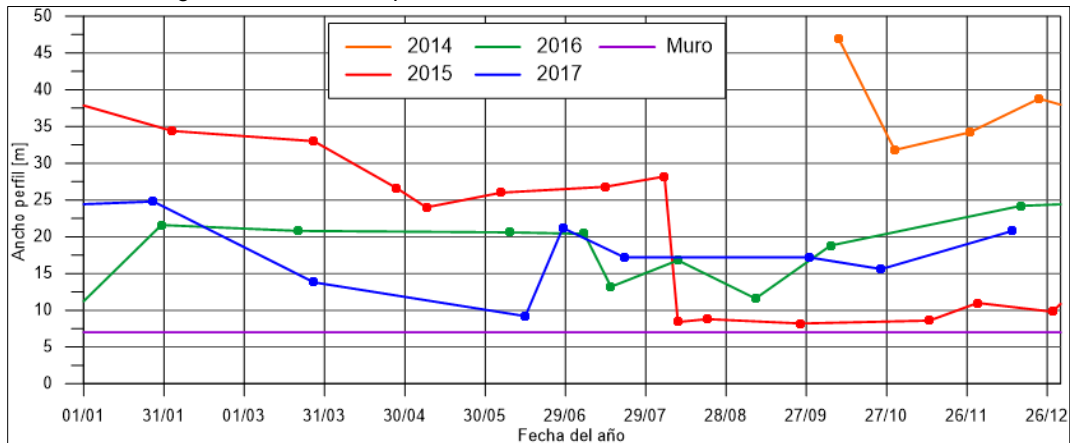
En esta playa se debe considerar un ancho mínimo que presentarán los tres perfiles, ya que cuando la playa se encuentra en su condición de máxima erosión se mide sobre la estructura del muro y las rocas del pie de la obra. Esto se señala en los gráficos con una línea púrpura y con el nombre de muro.

En la Figura 8-2 se presenta el ancho obtenido en el perfil n°1 para cada una de las mediciones realizadas en el transcurso de los años de medición, desde el año 2015 hasta fines del 2017.

Se observa un cambio considerable en el ancho del perfil luego del evento del 8 de agosto de 2015, del orden de 23 [m]. Posterior de esto, durante el primer semestre de 2016 se comienza a recuperar, pero no logra alcanzar el mismo ancho que presentaba en el verano del 2015. Esto se observa a lo largo de los últimos años, ya que los anchos medidos antes de este evento se mantuvieron sobre los 24 [m], mientras que posterior al evento presenta valores entre los 8 y 23 [m].

Además, se puede apreciar que se presenta el evento del 25 de junio del año 2017, que se reflejó en las mediciones realizadas el 28 de junio y cuyos efectos erosivos son similares a los generados por el evento del 8 de agosto de 2015.

Figura 8-2: Ancho del perfil n°1- Placeres, mediciones entre 2014-2017.



Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil n°2 (Figura 14-27, ver Anexo), se observa un cambio considerable en el ancho luego del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil presentó una recuperación lenta hasta comienzos de 2016, donde se observa una mayor recuperación, pero sin lograr alcanzar el mismo ancho que presentaba en el verano del 2015.

Durante el 2015 se identificaron que las condiciones de oleaje con el mayor daño erosivo se presentaron el 8 de agosto, generando un ancho del perfil de 3 [m]. Para el año 2016 la erosión máxima ocurre tras el evento del 13 de julio, donde el perfil presentó un ancho de 18,80 [m]. Y por último, durante el 2017 el evento que produjo una erosión severa fue el ocurrido el 25 de junio y se reflejó en los 17,20 [m] de ancho que presentó el perfil.

En la Figura 14-28 (ver Anexo) correspondiente al perfil n°3 de esta playa, se observa el mismo comportamiento de los perfiles anteriores luego del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil también presentó una recuperación lenta sin lograr alcanzar el mismo ancho observado en el verano del 2015, ya que en marzo de 2016 recién se observa una recuperación considerable. Además, se puede apreciar que la presencia del evento del 25 de junio de 2017 provocó un perfil transversal menor que el registrado por el evento del 8 de agosto de 2015.

Durante el 2015 sucedieron las condiciones de oleaje con el mayor daño erosivo, las cuales se presentaron el 8 de agosto y generaron un ancho del perfil de 11,6 [m]. Para el año 2016 la erosión máxima ocurre tras el evento del 13 de julio, donde el perfil presentó un ancho

de 25,2 [m]. Y por último, durante el 2017 el evento que produjo una erosión severa fue el ocurrido el 25 de junio y se reflejó en los 13,4 [m] de ancho del perfil. Los anchos medidos antes del evento del 8 de agosto de 2015 superan los 32 [m] y posterior a este evento presentan valores entre los 11 y 31 [m].

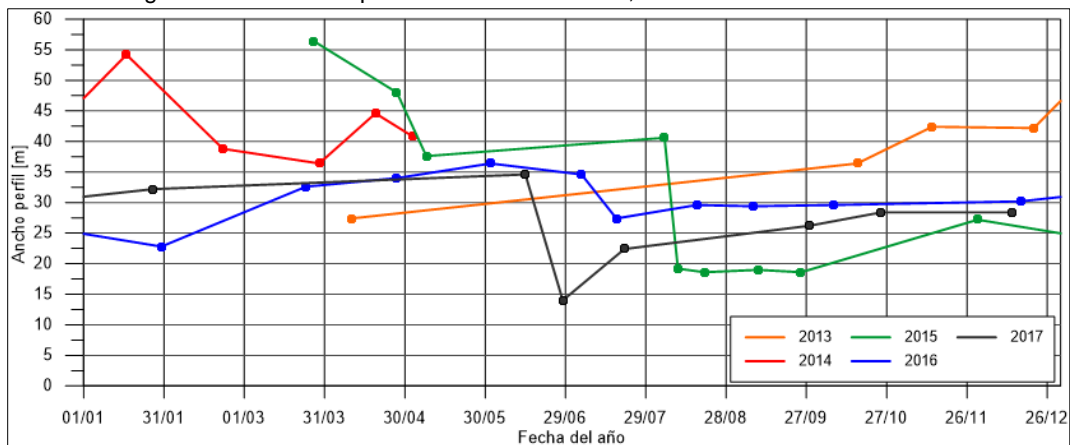
En general, al analizar los anchos medidos para cada perfil de esta playa se observa que los máximos anchos se encuentran entre los meses de noviembre y abril, y los mínimos se presentan durante los meses de junio y agosto, estos ciclos se asocian a la fecha en la cual ocurra el máximo evento erosivo característico de invierno.

### 8.1.3 ANCHO PERFIL TRANSVERSAL: PLAYA CALETA ABARCA

En la Figura 8-3 se presenta el perfil n°1, donde se observa un cambio considerable en el ancho del perfil luego del evento del 8 de agosto de 2015, del orden de 21 [m]. Posterior de esto, durante el primer semestre de 2016 se comienza a recuperar, pero no logra alcanzar los anchos característicos que presentaba en el verano del 2015, ya que se produjo un evento el 13 de julio de este año que interrumpió el proceso de acreción. Además, se puede apreciar que se presenta el evento del 25 de junio del año 2017, que se reflejó en las mediciones realizadas el 28 de junio y cuyos efectos erosivos son similares a los generados por el evento del 8 de agosto de 2015, produciendo un retroceso del perfil de 20 [m].

Durante el 2015 el ancho mínimo se generó por el evento del 8 de agosto, y fue de 19,20 [m]. En 2016 el mínimo ancho fue de 22,80 [m] y para el 2017 el mínimo ancho fue producido por el evento del 25 de junio y corresponde a 14 [m]. Además, se puede mencionar que el perfil ha disminuido considerablemente su ancho, ya que los anchos medidos antes del evento del 2015 se mantuvieron sobre los 37 [m], mientras que posterior al evento presenta valores entre los 14 y 36 [m].

Figura 8-3: Ancho del perfil n°1 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.



Fuente: Elaboración Propia.

En el perfil n°2 (ver Anexo, Figura 14-29), se cuantifica un cambio en el ancho de aproximadamente 20 [m] horizontales luego del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil presentó una recuperación lenta sin lograr alcanzar sus anchos característicos anteriores al evento del 2015. Recién en junio de 2016 comienza a presentar una recuperación

considerable, proceso que se ve interrumpido por el evento del 13 de julio del 2016 que produjo un retroceso del orden de 13 [m]. Además, se puede apreciar que se presenta el evento del 25 de junio del año 2017 que produjo una erosión importante del perfil con un retroceso de 17,80 [m]. De acuerdo a lo observado, el perfil ha disminuido considerablemente su ancho, ya que los anchos medidos antes del evento del 2015 se mantuvieron sobre los 37 [m], mientras que posterior al evento presenta valores entre los 22 y 35 [m].

En el perfil nº3 (ver anexo, Figura 14-30), se observa un cambio en el ancho de aproximadamente 20 metros horizontales luego del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil presentó una recuperación más rápida, pero aun así no logra recuperarse totalmente producto del evento del 13 de julio del 2016 que interrumpió el proceso de acreción y produjo un retroceso del orden de 11 [m]. Luego, el evento del 25 de junio del año 2017 provocó un retroceso de 9,60 [m], que aunque tuvo efectos erosivos menores no ha permitido que el perfil pueda recuperarse. De acuerdo a lo observado, el perfil ha disminuido considerablemente su ancho, ya que los anchos medidos antes del evento del 2015 se mantuvieron sobre los 31 [m], mientras que posterior al evento presenta valores que no superan los 30 [m].

En el caso del perfil nº4 (Ver anexo, Figura 14-31), el cambio en el ancho es del orden de 14 metros horizontales tras del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil presentó una recuperación lenta sin lograr alcanzar el mismo ancho que presentaba en el verano del 2015. También, se puede apreciar que la presencia del evento del 25 de junio del 2017 tuvo efectos erosivos mayores a los generados por el evento del 8 de agosto de 2015, donde el ancho obtenido tras la medición es de 25,40 [m] y con el evento del 2017 se presenta un ancho de 21,80 [m]. Además, se observa que el perfil ha disminuido considerablemente su ancho, ya que los anchos medidos antes del evento del 2015 se mantuvieron sobre los 39 [m], mientras que posterior al evento presenta valores entre los 21 y 38 [m].

En el perfil nº5 (Ver Anexo, Figura 14-32), se cuantifica un cambio aproximado del ancho de 15 metros horizontales tras del evento del 8 de agosto de 2015. Este perfil no ha logrado alcanzar el mismo ancho que presentaba antes del evento señalado, regularmente su ancho característico era superior a 26 [m] y posterior al evento de agosto de 2015 se observaron anchos menores a 25 [m]. Durante el 2015 el ancho mínimo generado por el evento del 8 de agosto fue de 12,40 [m]. En 2016 el mínimo ancho fue de 13 [m] y para el 2017, el mínimo ancho fue producido por el evento del 25 de junio y corresponde a 6,40 [m].

En general, los máximos anchos medidos para cada uno de los perfiles de esta playa se presentan entre los meses de noviembre y fines de abril, y los mínimos se encuentran durante los meses de junio y mediados de agosto, asociados a la ocurrencia del máximo evento de erosión que ocurre dentro del año.

## 8.2 COMPARACIÓN ENTRE DATOS DE MEDICIONES Y FOTOGRAFÍAS

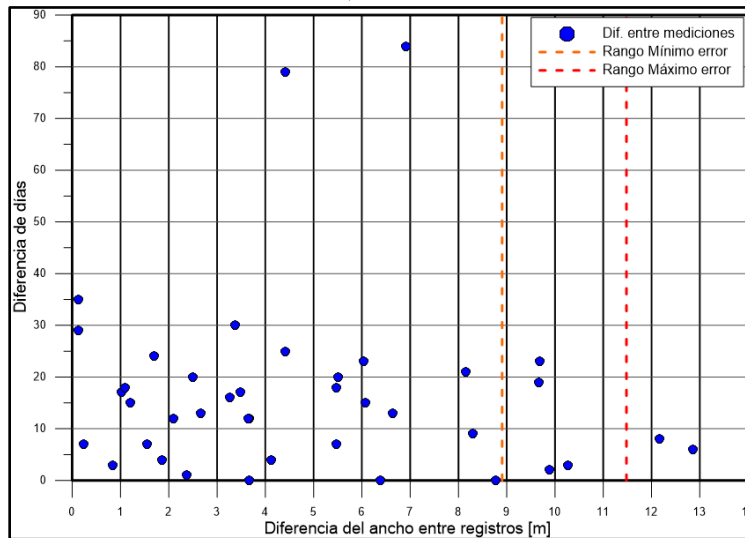
### 8.2.1 COMPARACIÓN DEL ANCHO DE LOS PERFILES EN LAS FOTOGRAFÍAS HISTÓRICAS Y MEDICIONES REALIZADAS IN SITU DURANTE EL MISMO PERIODO

En las siguientes figuras se presentan las diferencias que existen entre los anchos obtenidos a través de las fotografías con vista en planta y las mediciones realizadas en terreno, evidenciando que en los casos en los que se tiene una mayor lejanía entre los días en que se obtuvo la fotografía y se realizó la medición, existe una mayor discrepancia en dichos anchos.

#### 8.2.1.1 COMPARACIÓN DE REGISTROS: PLAYA PORTALES

En la Figura 8-4 se presenta el perfil n°3, donde se puede observar que las mayores diferencias entre el registro de fotografías y mediciones en terreno ocurren con 8 días de discrepancia y presenta una diferencia del ancho de 12,16 [m], y el otro caso es de 6 días de discrepancia con una diferencia del ancho de 12,85 [m].

Figura 8-4: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil n°3, Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

Se calculó el error asociado al rango de marea y de la pendiente que presenta este perfil, según lo presentado en el capítulo 7.3.2 de la metodología, obteniéndose un rango que varía entre 8,91 [m] y 11,48 [m]. En la Tabla 8-1 se puede observar que la comparación de ambos registros muestra que el 85% de las diferencias son explicadas por el rango de marea y la pendiente de este perfil, mientras que el 10% que se encuentra entre el mínimo y máximo error podría explicarse si es que el rango de marea fuera el máximo, pero existe una mayor incertidumbre. Por último, el 5% de diferencias restante podrían estar asociados a otros factores (variaciones de corto plazo asociadas a las condiciones de oleaje).

Tabla 8-1: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Portales.

Playa Portales	Rango mínimo error	Rango máximo error	Fuera del rango
Perfil nº3	85%	10%	5%
Perfil nº4	27,5%	20%	52,5%

Fuente: Elaboración Propia.

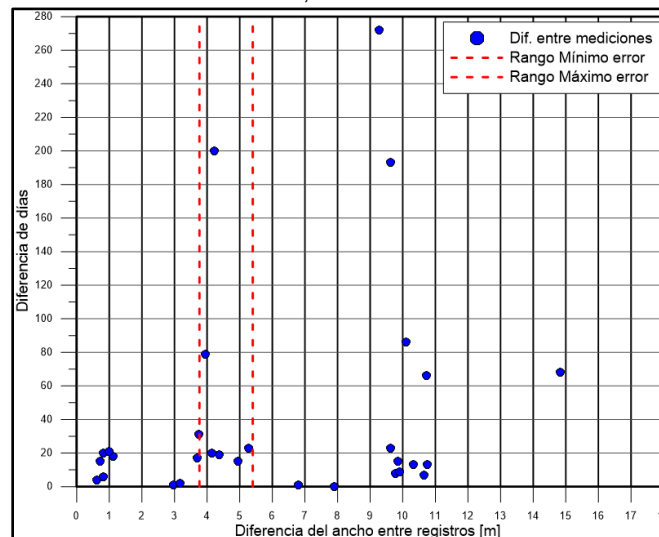
Para el caso del perfil nº4 (Figura 14-7, ver Anexo), se evidencia que las mayores diferencias en los registros fotográficos y de mediciones en terreno ocurren a los 15 días con una diferencia en el ancho de 12, 78 [m]. El rango de error asociado a la falta de información respecto a la marea y la pendiente que presenta este perfil al momento de la toma de la fotografía, varía entre 5,23 [m] y 7,67 [m].

En relación a lo anterior, la comparación de ambos registros se observa que el 52,5% de diferencias restante podrían estar asociados a otros factores (variaciones de corto plazo asociadas a las condiciones de oleaje). Esto permite identificar que en el perfil nº4 se presentan las mayores diferencias entre ambos registros.

### 8.2.1.2 COMPARACIÓN DE REGISTROS: PLAYA PLACERES

En la Figura 8-5 se presenta el perfil nº1, donde se observa que las mayores discrepancias entre ambos registros ocurren con 68 días y una diferencia del ancho de 14,82 [m], y 13 días con una diferencia del ancho de 10,76 [m].

Figura 8-5: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº1, Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

El rango de error asociado a la falta de información respecto a la marea y la pendiente que presenta este perfil al momento de la toma de la fotografía, varía entre 3,77 [m] y 5,40 [m]. En la Tabla 8-2 se presenta la comparación de ambos registros, mostrando que el 33,33% de las diferencias son explicadas por el rango de marea y la pendiente que se asocia a este

perfil. Mientras que el 20% que se encuentra entre el mínimo y máximo error podría ser asociado a que el rango de marea fuera el máximo y/o la presencia de variaciones de corto plazo, existiendo una mayor incertidumbre. Por último, el 46,67% de diferencias restante podrían estar asociados a otros factores como las variaciones de corto plazo asociadas a las condiciones de oleaje.

Tabla 8-2: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Placeres.

Playa Placeres	Rango mínimo error	Rango máximo error	Fuera del rango
Perfil n°1	33,33%	20%	46,67%
Perfil n°2	43,33%	16,67%	40%
Perfil n°3	46,67%	30%	23,33%

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del perfil n°2 (ver Anexo, Figura 14-6), se evidencia que las mayores diferencias en los registros fotográficos y de mediciones en terreno ocurren a los 66 días con una diferencia del ancho de 17,66 [m]. El valor señalado está fuera de los cálculos obtenidos, ya que se obtuvo un rango que varía entre los 3,89 [m] y 5,2 [m].

La comparación de ambos registros muestra que el 40% de diferencias se encuentran fuera de los rangos obtenidos y que podrían estar asociados a otros factores como la lejanía entre las fechas del registro fotográfico y las campañas de mediciones, que permiten la ocurrencia de variaciones de corto plazo.

En el perfil n°3 (ver Figura 14-7 en Anexo), se observa que las mayores diferencias en los registros fotográficos y de mediciones en terreno ocurren a los 20 días con una diferencia del ancho de 12,15 [m]. Para este perfil, el rango de error asociado varía entre 4,46 [m] y 6,76 [m]. Además, la comparación de ambos registros muestra que el 76,67% de las diferencias se encuentran dentro del rango máximo de error calculado y un 23,33% de las diferencias restante podrían estar asociados a otros factores ya mencionados.

### 8.2.1.3 COMPARACIÓN DE REGISTROS: PLAYA CALETA ABARCA

En la Figura 8-6 correspondiente al perfil n°1, se observa que las mayores diferencias entre ambos registros ocurren con 39 días y una diferencia del ancho de 21,08 [m], y 72 días con una diferencia del ancho de 18,02 [m]. Los valores señalados quedan fuera del rango de error calculado, que varía entre 7,59 [m] y 11,69 [m].

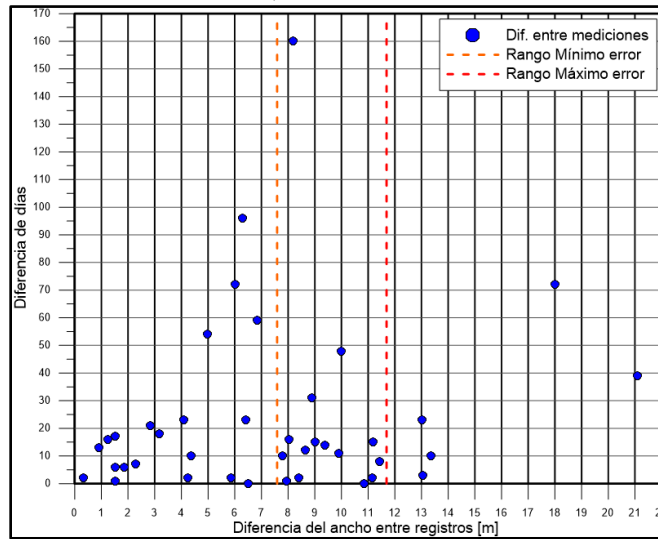
Tabla 8-3: Porcentajes de datos que se encuentran dentro de los rangos de error, perfiles playa Caleta Abarca.

Playa Caleta Abarca	Rango mínimo error	Rango máximo error	Fuera del rango
Perfil n°1	50%	37,5%	12,5%
Perfil n°2	80%	17,5%	2,5%
Perfil n°3	45%	42,5%	12,5%
Perfil n°4	60%	35%	5%
Perfil n°5	35%	30%	35%

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la Tabla 8-3, la comparación de ambos registros muestra que el 50% de las diferencias son explicadas por el rango de marea y la pendiente de este perfil. El 37,5% que se encuentra entre el mínimo y máximo error podría ser asociado a lo ya señalado, pero existe una mayor incertidumbre (factor marea y ocurrencia de eventos extremos). Por último, el 12,5% de diferencias restante se asocian a otros factores (principalmente la ocurrencia de variaciones de corto plazo).

Figura 8-6: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017, Perfil nº1, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

En el perfil nº2 ( Figura 14-8, ver Anexo), se puede observar que las mayores diferencias entre ambos registros ocurren con 39 días y una diferencia de 12,66 [m], y 72 días con diferencia de 14,11 [m]. Para este perfil, el rango de error asociado varía entre 8,46 [m] y 13,20 [m]. Además, de la comparación de ambos registros el 80% de las diferencias son explicadas por el rango de marea y su pendiente, y solamente el 2,5% de diferencias se asocian a otros factores.

En la Figura 14-9 (ver Anexo) se presenta la comparación de los registro para el perfil nº3, donde se observa que las mayores diferencias entre ambos registros ocurren con 39 días y una diferencia de 17,62 [m], y 72 días con diferencia de 18,30 [m]. Los valores identificados quedan fuera del rango de error calculado, que varía entre 8,08 [m] y 13,12 [m]. De la comparación de ambos registros se constata que el 45% de las diferencias son explicadas por el rango de error señalado.

Para el perfil nº4 (Figura 14-10, ver Anexo), se observar que las mayores diferencias entre ambos registros ocurren con 10 días y una diferencia de 14,47 [m]. El rango de error asociado a la falta de información respecto a la marea y la pendiente que presenta este perfil al momento de la toma de la fotografía, varía entre 7,25 [m] y 12,87 [m]. La comparación de ambos registros muestra que el 60% de las diferencias se encuentran dentro del rango mínimo de error y solamente el 5% de diferencias esta fuera del rango máximo de error.

Por último en el perfil n°5 (Figura 14-11, ver Anexo), se puede observar que las mayores diferencias entre ambos registros ocurren con 39 días y una diferencia de 20,44 [m]. El rango de error calculado para este perfil varía entre 5,63 [m] y 9,32 [m]. Y la comparación de ambos registros muestra que el 65% de las diferencias se encuentran dentro del rango de error máximo, mientras que el 35% de diferencias restante están fuera del rango y podrían estar asociados a otros factores.

Las grandes diferencias que se presentan para cada uno de los perfiles y que están fuera de los rangos de error calculados, se asocian principalmente la ocurrencia de variaciones de corto plazo.

## 8.2.2 VALIDACIÓN DE DATOS DE FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA

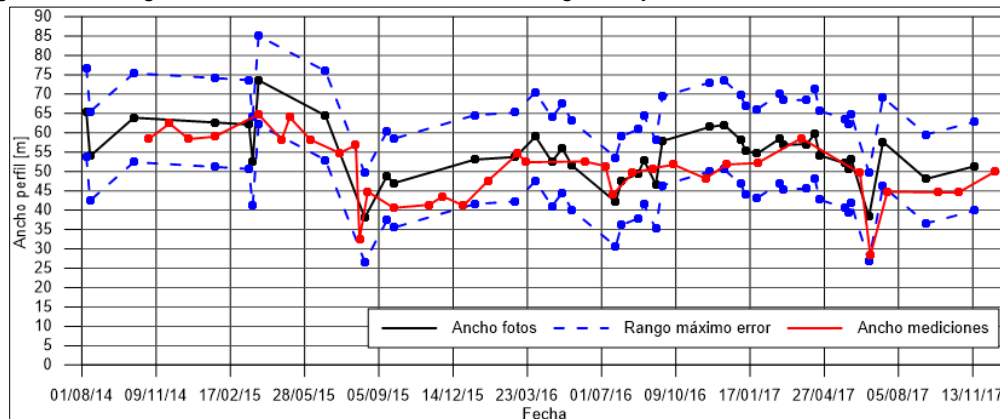
El procesamiento y validación de la información obtenida de las fotografías con vista en planta se realizó en base a su comparación con las mediciones de terreno 2013-2017 y con esto se establecieron rangos de error para cada uno de los datos obtenidos. Las grandes diferencias que se presentan entre los registros, se asocian al cambio de la pendiente y diferencias considerables en el tiempo en que se tomaron las fotografías y se realizó la medición del perfil, permitiendo la ocurrencia de variaciones de corto plazo.

En las siguientes figuras se presentará la comparación entre las mediciones en terreno y lo obtenido a través de fotografías con vista en planta, con esto se obtiene los errores y ajustes obtenidos entre ambos registros.

### 8.2.2.1 VALIDACIÓN DE DATOS: PLAYA PORTALES

En la Figura 8-7 se presenta el perfil n°3 de esta playa, donde se observa que los datos de las fotografías se ajustan bien a los datos de las mediciones en terreno aunque existen diferencias, las cuales están asociadas a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y a que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar la condiciones de marea de la imagen. La comparación entre ambos registros presenta una diferencia máxima de 12,86 [m] y una mínima de 12 [cm]. En general, los datos obtenidos de las fotografías en planta sobreestiman las mediciones realizadas en terreno.

Figura 8-7: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones - Perfil n°3, Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

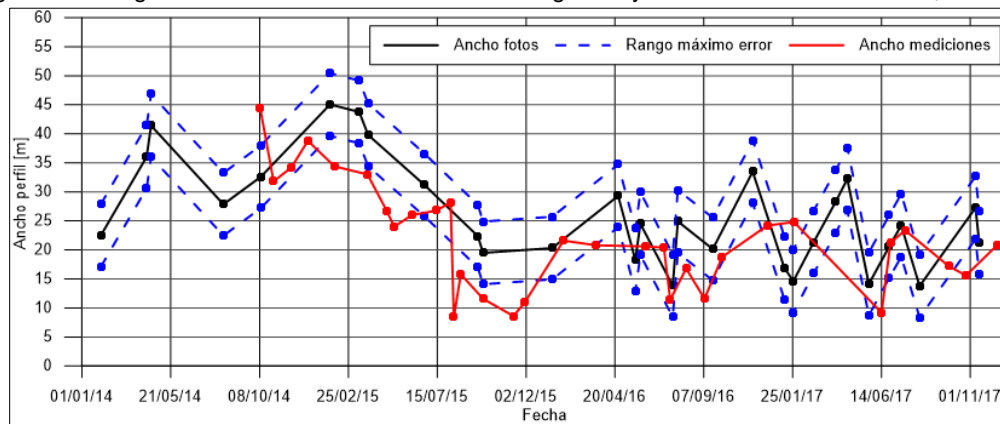
En la Figura 14-12 (ver Anexo) el perfil n°4 por su parte, presenta una menor asociación entre los registros, ya que se observa que los valores obtenidos en las mediciones en su mayoría son menores a los obtenidos de las fotografías. Esto podría estar asociado a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar las condiciones de marea de la imagen.

La comparación entre ambos registros presenta una diferencia máxima de 12,78 [m] y una mínima de 2 [cm]. Además, se puede constatar que los datos obtenidos de las fotografías en planta sobreestiman las mediciones realizadas en terreno.

### 8.2.2.2 VALIDACIÓN DE DATOS: PLAYA PLACERES

En la Figura 8-8 se presenta el perfil n°1 de esta playa, donde se observa que la correlación entre los registros presenta diferencias considerables. La comparación entre ambos registros presenta una diferencia máxima de 14,82 [m] y una mínima de 63 [cm]. Además, los datos obtenidos de las mediciones muestran una tendencia a ser menores que los datos obtenidos por medio de las fotografías con vista en planta. Esto está asociado a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y a que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar la condiciones de marea que presenta la imagen.

Figura 8-8 Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones – Perfil n°1, Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

En el caso del perfil n°2 que se presenta en la Figura 14-13 (ver Anexo), se observa que varios datos se encuentran fuera del rango máximo de error. La comparación entre ambos registros muestra una diferencia máxima de 17,66 [m] y una mínima de 24 [cm]. Además, los datos obtenidos de las mediciones presentan una tendencia a ser menores que los datos obtenidos por medio de las fotografías con vista en planta. Esto está asociado a lo que ya se mencionó en el análisis del perfil n°2.

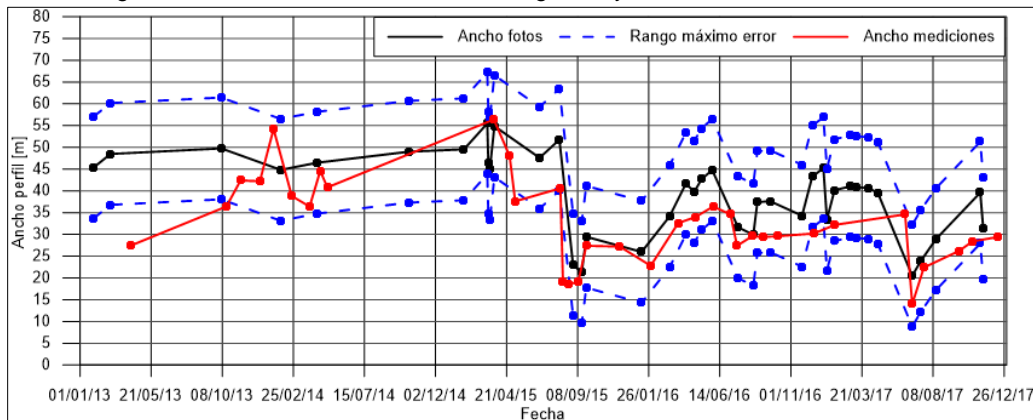
El perfil n°3 ( Figura 14-14, ver Anexo), presenta varios datos que se encuentran fuera del rango máximo de error y que se asocian a los factores ya señalados. La comparación entre ambos registros muestra una diferencia máxima de 12,15 [m] y una mínima de 11 [cm]. Al

analizar el comportamiento general entre ambos registros, se observa una sobreestimación de los datos medidos en terreno por parte de las fotografías con vista en planta.

### 8.2.2.3 VALIDACIÓN DE DATOS: PLAYA CALETA ABARCA

En la Figura 8-9 entre ambos registros presenta diferencias considerables. La comparación entre ambos registros presenta una diferencia máxima de 21,08 [m] y una mínima de 32 [cm]. Además, los datos obtenidos de las mediciones presentan una tendencia a ser menores que los datos obtenidos por medio de las fotografías con vista en planta, lo que indica que los datos de las mediciones en terreno son sobreestimadas por los registros de las fotografías. Esto está asociado a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y a que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar la condición de marea presente en la imagen.

Figura 8-9 Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones – Perfil n°1, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 14-15 (ver Anexo) el perfil n°2 por su parte, presenta una mayor asociación entre los registros, ya que se observa que los valores obtenidos en las mediciones se encuentran dentro del rango de error calculados en un 80% de los casos comparados. El resto de los datos que se encuentran fuera del rango máximo de error se asocian a los factores ya señalados.

La comparación entre ambos registros presenta una diferencia máxima de 14,11 [m] y un mínimo de 9 [cm]. Además, se puede constatar que los datos obtenidos de las fotografías en planta sobreestiman las mediciones realizadas en terreno.

Las figuras comparativas de los otros 3 perfiles se encuentran en el apartado de este tema en Anexo (de Figura 14-16 a Figura 14-18).

En los perfiles del n°3 al n°5 se presenta el mismo comportamiento señalado en el perfil n°1, en lo que se refiere a que las mediciones presentan valores menores a los obtenidos de las fotografías en planta y que esto podría estar asociado a la pendiente del perfil al momento de realizar la medición y a que no se conoce la hora de la fotografía con vista en planta, ya que con esta información se podría determinar la condiciones de marea que presenta la imagen.

### **8.2.3 COMPARACIÓN MÁXIMOS Y MÍNIMO ANUALES ENTRE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES**

Por medio de gráficos se presenta el análisis del comportamiento de cada perfil medido a través de los años, identificándose los máximos y mínimos anchos anuales obtenidos de las fotografías con vista en planta y las mediciones de perfiles transversales realizadas en terreno, en los casos donde las fotografías en planta se encuentran dentro del periodo de medición entre el 2013 y 2017 para playa Caleta Abarca, y desde 2014 para las playas de Placeres y Portales. Para el caso histórico sólo se cuentan con los anchos máximos anuales.

De acuerdo a la información analizada se pudo obtener en su mayoría valores de anchos máximos, ya que existe una disponibilidad de fotografías escasa. Además, se debe considerar que el perfil erosionado tiene un periodo de permanencia menor al perfil de acreción que se evidencia durante varios meses.

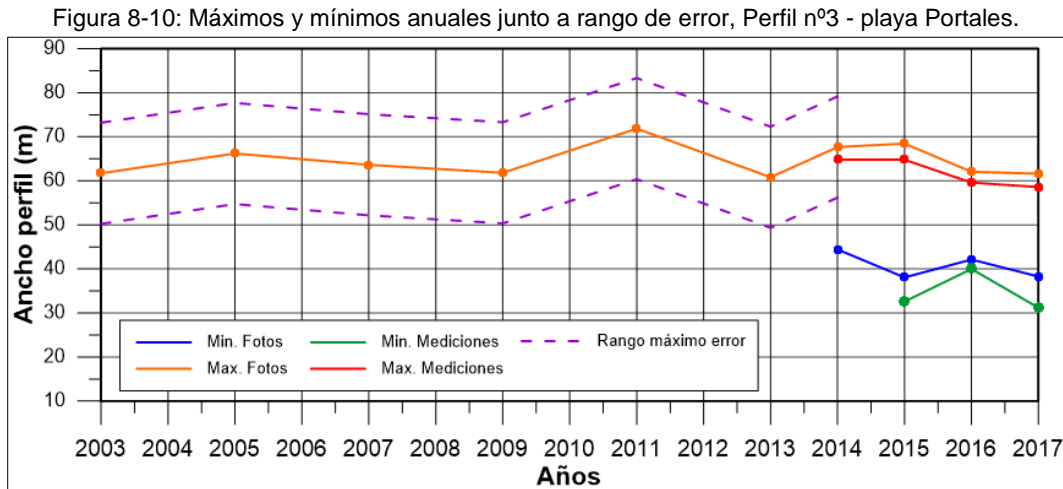
Los mínimos de las fotografías se observan mayormente entre 2014 y 2017, ya que hay una mayor densidad de fotografías con vista en planta y esto, permite obtener anchos mínimos de cada perfil.

A través de estas gráficas se pueden apreciar las diferencias que se presentan entre ambos registros. Cabe mencionar que del capítulo anterior, se validan los datos obtenidos fuera del periodo de medición y con ello, se puede establecer un periodo mayor de análisis del comportamiento del perfil de playa.

#### **8.2.3.1 MÁXIMOS Y MÍNIMOS ANUALES: PLAYA PORTALES**

En el caso del perfil nº3 (Figura 8-10), se observa una diferencia mínima de 2,14 [m] y un máximo de 7,1 [m] entre los registros. Los máximos presentan valores entre 56,82 [m] y 72,46 [m] para el caso del registro de fotografías. Además, se aprecia una diferencia de 6,4 [m] entre el ancho máximo del año 2015 y el del año 2016.

En el caso de las mediciones los máximos registrados en los 4 años de campañas de terreno presentan valores entre los 58,60 [m] y 64,80 [m], y la diferencia entre el ancho máximo del año 2015 y 2016 es de 5,2 [m].



En el caso del perfil n°4 ( Figura 14-19, ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 3,02 [m] y un máximo de 11,74 [m]. Los máximos presentan valores que varían entre los 51,37 [m] y 72,91 [m] para el caso del registro de fotografías. También, se puede apreciar una diferencia de 12,76 [m] entre el ancho máximo de los años 2015 y 2016.

Por su parte, en las mediciones los máximos registrados en los años de campañas de terreno presentan valores entre los 41,20 [m] y 62,60 [m], y la diferencia entre el ancho máximo del año 2015 y del 2016 es de 18 [m].

En general, se puede constatar que el ancho máximo y mínimo que presentaba regularmente la playa ha ido decayendo posterior al evento ocurrido en agosto del año 2015.

### 8.2.3.2 MÁXIMOS Y MÍNIMOS ANUALES: PLAYA PLACERES

Para el caso del perfil n°1 (Figura 8-11), se observa una diferencia mínima de 0,81 [m] y un máximo de 11,09 [m] entre los registros. Los máximos presentan valores que varían entre los 32,22 [m] y 51,68 [m], para el caso del registro de fotografías. Para las mediciones, los máximos registrados en los 4 años de campañas de terreno presentan valores entre los 23,40 [m] y 35,22 [m].

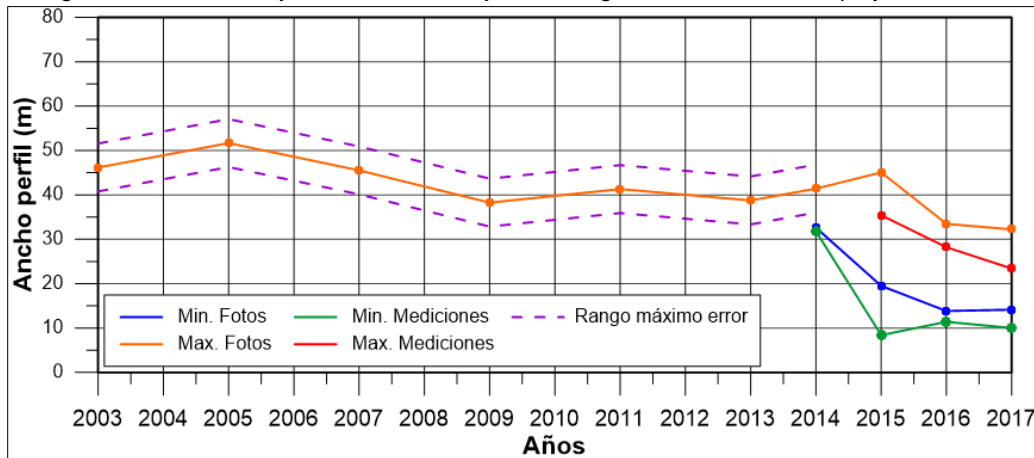
En la Tabla 8-4 se presenta la diferencia entre los anchos máximos de 2015 y 2016, para las mediciones en terreno y fotografías aéreas. Para el perfil n°1, se obtienen valores de 7,2 [m] en las mediciones y 11,59 [m] en las fotografías.

Tabla 8-4: Diferencias anchos máximos de los perfiles, Playa Placeres.

Playa Placeres	Diferencia ancho máximos 2015-2016	
	mediciones	Fotografías
Perfil n°1	7,20 [m]	11,59 [m]
Perfil n°2	10 [m]	14 [m]
Perfil n°3	13,4 [m]	14 [m]

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-11: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°1, playa Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

De la información del perfil n°2 (Figura 14-20, ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 0,78 [m] y un máximo de 8,85 [m]. Los máximos anchos presentan valores que varían entre los 27,38 [m] y 55,04 [m], para el caso del registro de fotografías. En las mediciones los máximos registrados en los 4 años de campañas de terreno presentan valores entre los 26,60 [m] y 38 [m]. Además, la mayor diferencia entre los máximos anchos entre los años 2015 y 2016 se presentan en las fotografías con 14 [m].

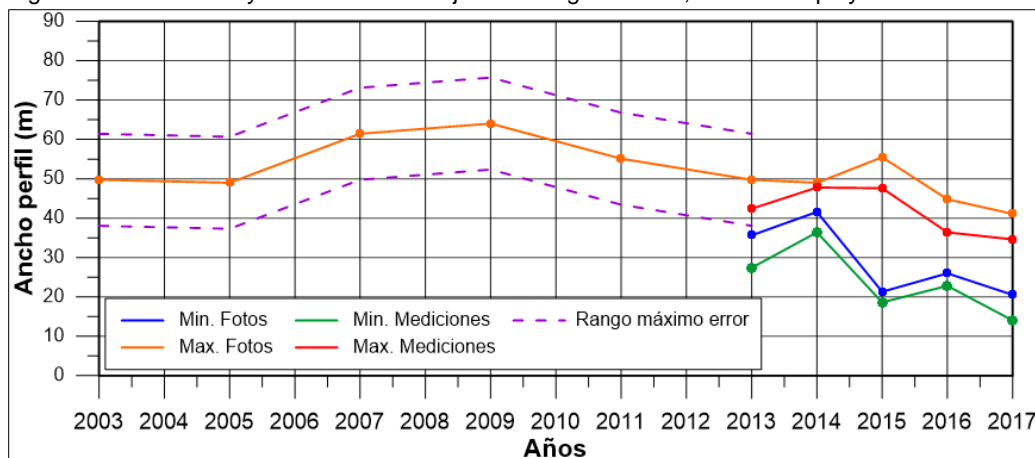
En el caso del perfil n°3 (Figura 14-21, ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 0,31 [m] y un máximo de 5,31 [m]. Los máximos anchos presentan valores que varían entre los 30,60 [m] y 63,63 [m], para el registro de fotografías. En las mediciones los máximos registrados en los años de campañas de terreno presentan valores entre los 30,60 [m] y 44,20 [m].

Se observa el mismo comportamiento de los perfiles de playa Portales, respecto a que el ancho máximo y mínimo ha ido decayendo posterior al evento ocurrido en agosto del año 2015.

### 8.2.3.3 MÁXIMOS Y MÍNIMOS ANUALES: PLAYA CALETA ABARCA

En la Figura 8-12 se presenta el comportamiento de los mínimos y máximos anchos del perfil n°1 de esta playa, donde se observa una diferencia mínima de 2,7 [m] y un máximo de 8,4 [m] entre los registros. Los máximos presentan valores que varían entre los 41,09 [m] y 64,04 [m], para el caso del registro de fotografías. El ancho máximo de este perfil en las fotografías, comienza en 2003 con valores menores a 50 [m] y entre 2007 a 2009 alcanza valores superiores a 61 [m], para luego observarse un decaimiento entre los años 2010 al 2014 con anchos menores a 56 [m]. Para las mediciones los máximos registrados en los 5 años de campañas de terreno presentan valores entre los 34,60 [m] y 47,80 [m], el máximo valor se observa en el verano del 2014. Los mínimos anuales del registro de fotografías, presentan valores entre los 20,51 [m] y 41,59 [m], mientras que los mínimos de las mediciones varían entre los 14 [m] y 36,40 [m].

Figura 8-12: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°1 - playa Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 8-5: Diferencias anchos máximos de los perfiles, Playa Caleta Abarca.

Playa Caleta Abarca	Diferencia ancho máximos 2015 - 2016	
	mediciones	Fotografías
Perfil n°1	11 [m]	11 [m]
Perfil n°2	1,4 [m]	9,2 [m]
Perfil n°3	3,8 [m]	1,8 [m]
Perfil n°4	7,6 [m]	2,6 [m]
Perfil n°5	1,4 [m]	33 [cm]

Fuente: Elaboración Propia.

En la Tabla 8-5 se presentan las diferencias en los anchos máximos de los perfiles de esta playa entre el 2015 y 2016. De esto, se puede señalar que la mayor diferencia se observa en las mediciones del perfil n°1 con 11 [m] y las menor diferencia se obtuvo en el registro de las fotografías aéreas con 33 [cm].

En el perfil n°2 ( Figura 14-22, ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 0,93 [m] y un máximo de 9,05 [m] entre los registros. En el caso del registro de fotografías, los mínimos

anchos anuales presentan valores entre los 23,22 [m] y 41,82 [m], mientras que los mínimos de las mediciones varían entre los 18 [m] y 36,60 [m]. Los máximos presentan valores que varían entre los 41,32 [m] y 58,92 [m] en el registro de fotografías. El ancho máximo de este perfil comienza en 2003 con valores mayores a 50 [m] y entre 2007 a 2009 alcanza valores superiores a 55 [m], para luego observarse un decaimiento entre los años 2011 al 2017 con anchos menores a 54 [m]. Los máximos registrados en los 5 años de campañas de terreno presentan valores entre los 39,40 [m] y 48,60 [m], el máximo valor se observa en el verano del 2013.

En la Figura 14-23 (ver Anexo) se presenta el comportamiento del perfil n°3, donde se observa una diferencia mínima de 0,48 [m] y un máximo de 10,76 [m] entre los registros. En el registro de fotografías los anchos máximos presentan valores que varían entre los 45,52 [m] y 73,01 [m]. El ancho máximo de este perfil se presenta en el 2005, luego desde 2007 comienza el decaimiento con anchos menores a 60 [m]. Los máximos registrados en los años de campañas de terreno presentan valores entre los 37 [m] y 48,40 [m], el máximo valor se observa en el verano del 2013. En el caso del registro de fotografías los mínimos anuales, presentan valores entre los 27,95 [m] y 33,28 [m], mientras que los mínimos de las mediciones varían entre los 18,80 [m] y 32,80 [m].

En el perfil n°4 (Figura 14-24, ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 1,85 [m] y un máximo de 10,71 [m] entre los registros. En el caso del registro de fotografías, los mínimos anuales presentan valores entre los 29,14 [m] y 44,17 [m], mientras que los mínimos de las mediciones varían entre los 23,60 [m] y 40,60 [m].

En el registro de fotografías los anchos máximos presentan valores que varían entre los 43,69 [m] y 67,14 [m]. El ancho máximo de este perfil se presenta en el 2005, luego desde 2007 comienza el decaimiento con anchos menores a 61 [m]. Por su parte, los máximos registrados en los años de campañas de terreno presentan valores entre los 37,80 [m] y 51,40 [m], el máximo valor se observa en el verano del 2013. Además, la diferencia entre el ancho máximo de los años 2015 y 2016 es de 2,60 [m], que es menor a los 7,6 [m] obtenido en el registro de fotografías.

Para el perfil n°5 cuyo comportamiento de sus mínimos y máximos se presenta en la Figura 14-25 (ver Anexo), se observa una diferencia mínima de 0,4 [m] y un máximo de 11,88 [m] entre los registros. En el caso del registro de fotografías los mínimos anuales presentan valores entre los 14,49 [m] y 34,96 [m], mientras que los mínimos de las mediciones varían entre los 6,40 [m] y 33 [m]. En el registro de fotografías los anchos máximos presentan valores que varían entre los 43,08 [m] y 57,66 [m]. El ancho máximo de este perfil se presenta en el 2009, luego desde 2007 comienza el decaimiento con anchos menores a 50 [m]. Además, los máximos registrados en las campañas de terreno presentan valores entre los 31,20 [m] y 48,40 [m], el máximo valor se observa en el verano del 2013.

En general, se observa el mismo comportamiento de los perfiles de las playas anteriormente descritas, respecto a que el ancho máximo y mínimo ha ido decayendo posterior al evento ocurrido en agosto del año 2015.

## **8.3 CORRELACIÓN DE DATOS DE OLAJE CON LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y ACRECIÓN REGISTRADOS**

Se analizó la data de oleaje para el periodo entre el año 2013 al 2017, periodo para el cual se tienen registros de mediciones de perfiles transversales y con ello, los cambios que se produjeron en el ancho de la playa.

A continuación, se presentan diferentes gráficos que permiten explicar el comportamiento del perfil transversal de la playa frente a eventos con diferentes características.

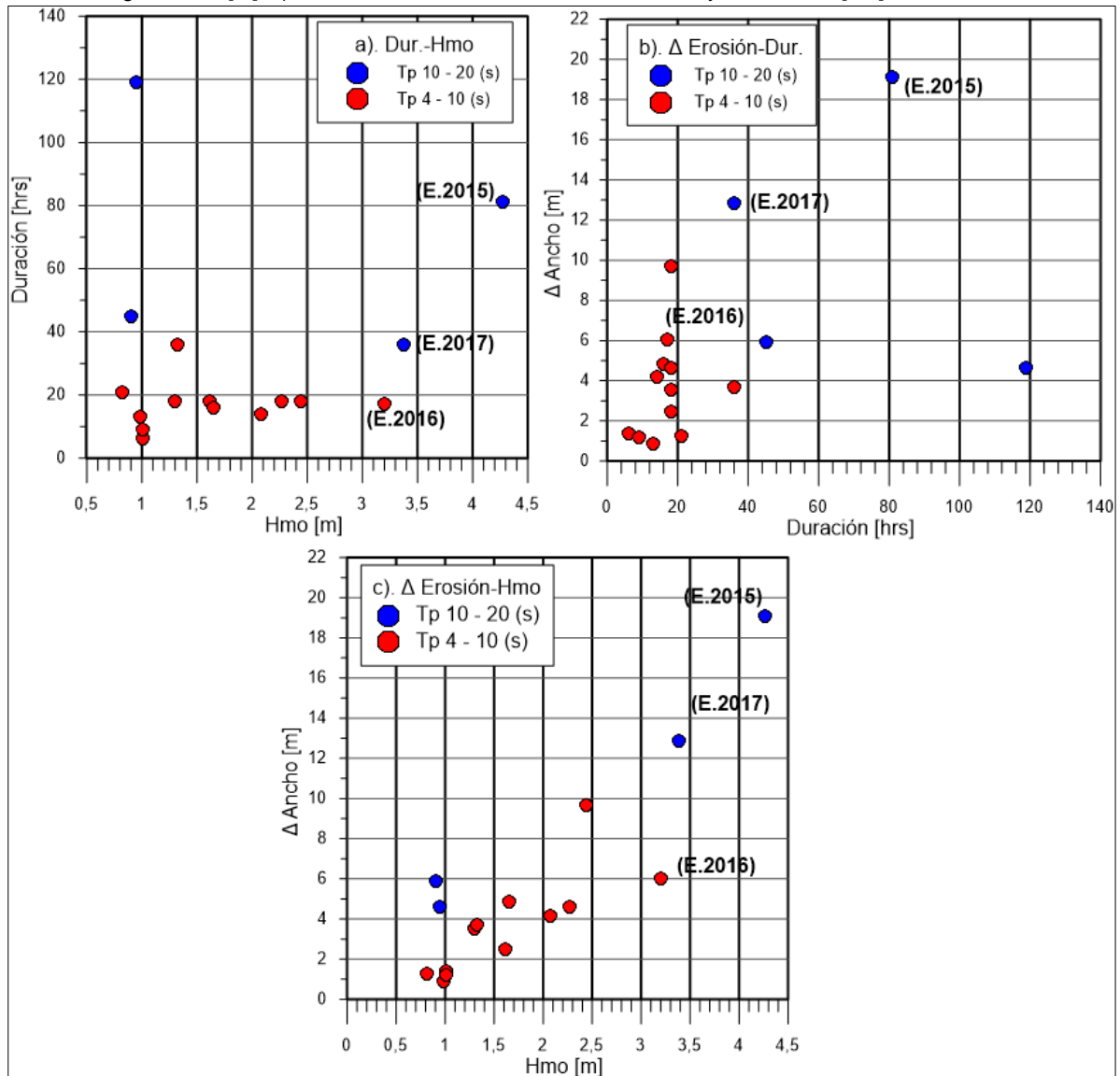
### **8.3.1 RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLAJE-EROSIÓN: PLAYA PORTALES**

Según lo que se muestra en la Figura 8-13 para el caso del grupo de eventos extremos de oleaje que presentan periodos de oleaje de 4 a 10 [s], se observa que producen erosiones del perfil transversal de la playa del orden de 0,85 [m] a los 9,67 [m]. Estas condiciones de oleaje presentan alturas superiores a 0,8 [m] y máximo de 3,2 [m], con periodos de duración menores a 36 horas.

Para el grupo de eventos extremos de oleaje que presentan periodos de entre 10 a 20 [s] y alturas entre 0,90 [m] y 4,27 [m], los rangos de erosión van desde los 4,62 [m] a los 19,10 [m]. Estos eventos presentan periodos de duración de entre 45 a 119 horas.

En general, se puede decir que los eventos erosivos presentan alturas mayores a 0,80 [m] y una duración menor a 120 horas. Además, las condiciones de oleaje con alturas superiores a 3,2 [m] y periodos sobre los 10 [s] generan erosiones del perfil de playa superiores a los 10 [m].

Figura 8-13: Caracterización de eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [s], playa Portales.  
 a) Comportamiento Duración eventos [hrs]-Altura significativa [m], b) Diferencias en el ancho del perfil [m] - Altura significativa [m], c) Relación entre la diferencias en el ancho y la duración [hrs] de los eventos.



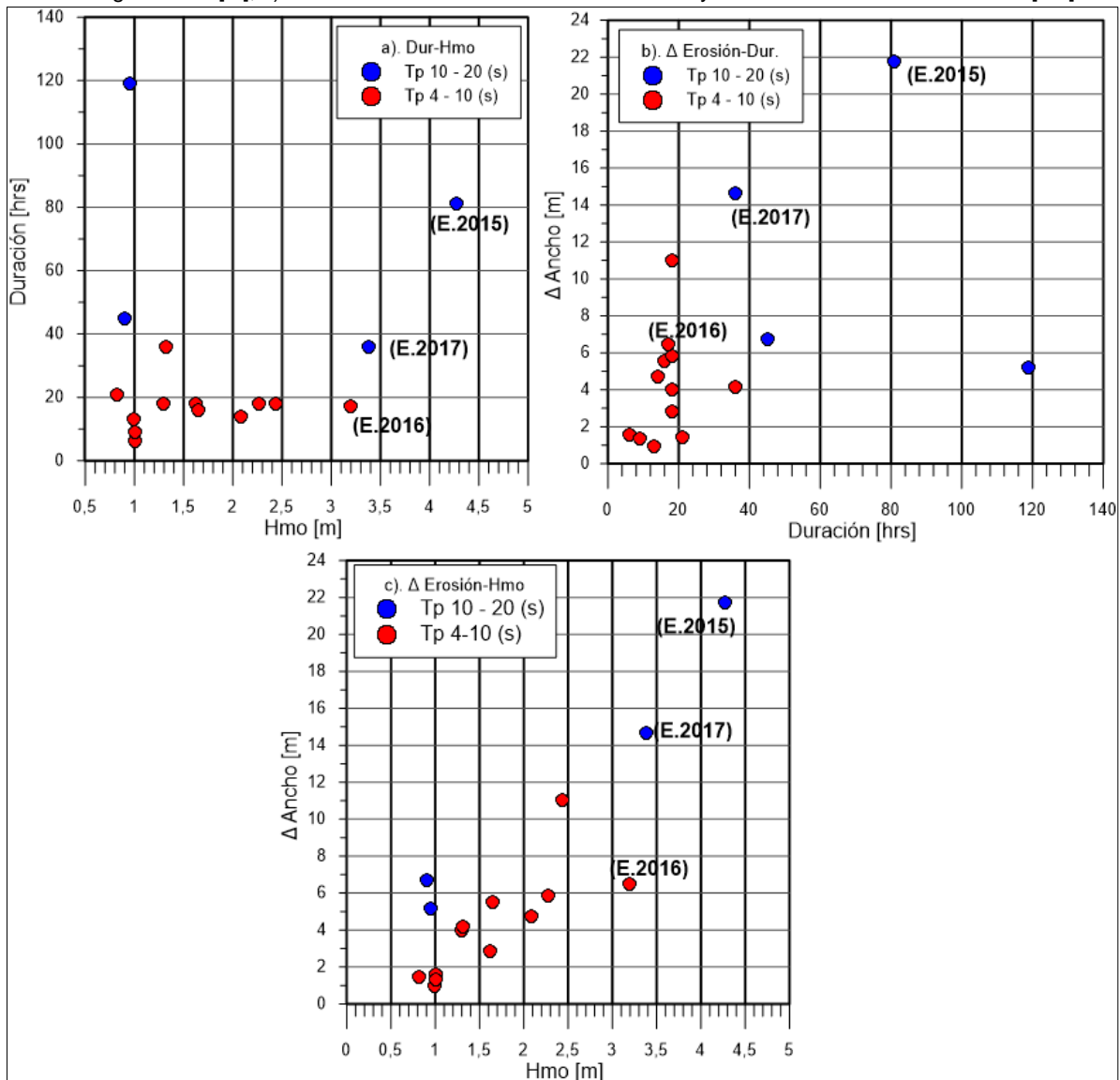
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.3.2 RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLAJE-EROSIÓN: PLAYA PLACERES

Para el caso del grupo de eventos extremos que tienen periodos de oleaje de 4 a 10 [s], las condiciones de oleaje que generan erosión presentan alturas superiores a 0,8 [m] y máximo de 3,2 [m]. Los rangos de erosión van desde los 0,96 [m] a los 11 [m] de retroceso horizontal y presentan periodos de duración menores a 36 horas. En la Figura 8-14 se muestran gráficos con la caracterización de estos eventos.

Figura 8-14: Caracterización de los eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [S], playa Placeres.

a) Comportamiento Duración del evento [hrs]-Altura significativa [m], b) Diferencias en el ancho del perfil [m] - Altura significativa [m], c) Relación entre la diferencias en el ancho y la duración del evento extremo [hrs].



Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso del grupo de eventos extremos que tienen periodos de oleaje de 10 a 20 [s], las condiciones de oleaje que generan erosión presentan alturas superiores a 0,70 [m] y máximo de 4,27 [m]. Los rangos de erosión van desde los 1,07 [m] a los 21,73 [m] y presentan periodos de duración entre 45 a 119 horas.

En general, se puede decir que los eventos erosivos en playa Placeres tienen una influencia mayor en sus perfiles transversales, ya que los rangos de erosión presentados son mayores que en la playa de Portales.

### **8.3.3 RELACIÓN EVENTOS EXTREMOS DE OLEAJE-EROSIÓN: PLAYA CALETA ABARCA**

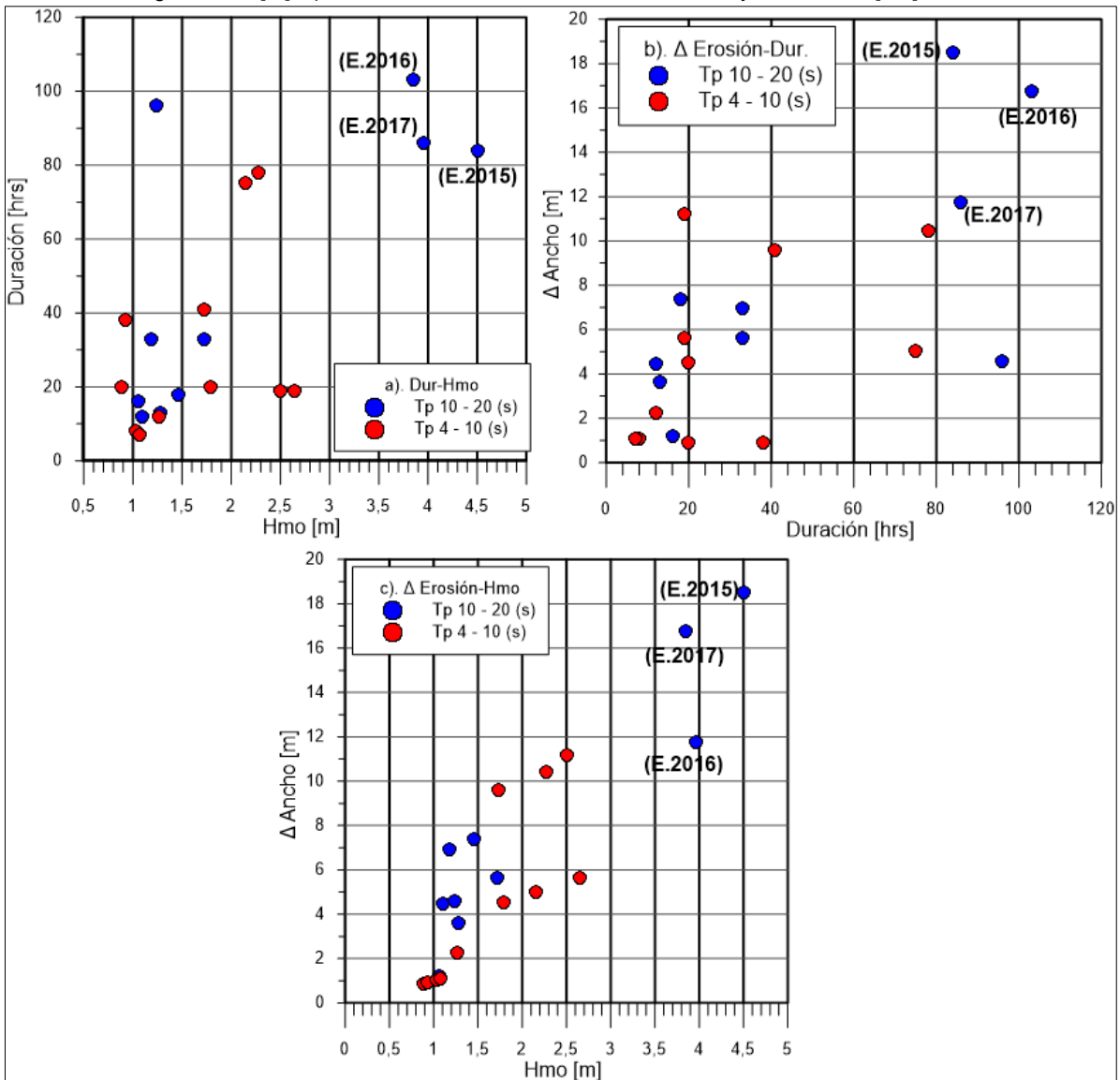
Para el caso del grupo de eventos extremos con periodos de oleaje de 4 a 10 [s], las condiciones de oleaje que generan erosión presentan alturas superiores a 0,89 [m] y máximo de 2,65 [m]. Los rangos de erosión van desde los 0,56 [m] a los 11,20 [m] y presentan periodos de duración menores a 78 horas.

Para el caso del grupo de eventos extremos con periodos de oleaje de 10 a 20 [s], las condiciones de oleaje que generan erosión presentan alturas superiores a 1,06 [m] y máximo de 4,51 [m]. Los rangos de erosión van desde los 1,22 [m] a los 18,52 [m] y presentan periodos de duración entre 12 a 103 horas.

En la Figura 8-15 se presenta una caracterización de los eventos extremos registrados en playa Caleta Abarca y se distribuyen según su duración, altura de ola y erosión provocada.

En general, se puede decir que los eventos erosivos presentan alturas mayores a 1,06 [m] y una duración menor a 103 horas. Además, las condiciones de oleaje con alturas superiores a 3,5 [m] y periodos sobre los 12 [s] generan erosiones del perfil de playa superiores a los 10 [m].

Figura 8-15: Caracterización de eventos extremos con periodo peak entre 4-20 [s], playa Caleta Abarca.  
 a) Comportamiento Duración de eventos [hrs]-Altura significativa [m], b) Diferencias en el ancho del perfil [m]-  
 Altura significativa [m], c) Relación entre la diferencias en el ancho y la duración [hrs] del evento.



Fuente: Elaboración Propia.

## 8.4 EVENTOS EXTREMO DE OLEAJE EN EL PERIODO DE ESTUDIO

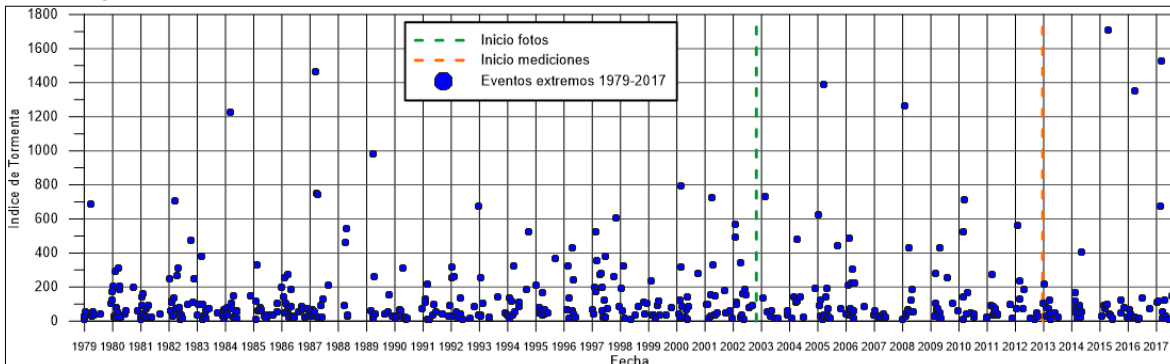
### 8.4.1 EVENTOS EXTREMOS: PLAYA CALETA ABARCA

Del análisis de la serie de oleaje, se identificaron los eventos extremos presentes desde el año 1979 hasta el 2017 (Figura 8-16). Al conocer estos eventos se pudo obtener su índice de tormenta y compararlo con los eventos del 8 de agosto del año 2015, del 13 de julio del 2016 y del 25 de junio del año 2017. El evento del 2015 muestra un índice de 1.708,57, mientras que el evento del 2016 presenta un índice de 1.348,62 y por último el evento del año 2017 tiene un índice de 1.526,72.

En conclusión, antes de los registros de mediciones y fotografías se puede constatar que no se presentan condiciones de oleaje de las mismas características del evento ocurrido en agosto del 2015, pero si se observa un par de eventos que se pueden comparar con los eventos ocurridos durante el 2016 y 2017. El primer evento con el índice más cercano al presentado por los eventos señalados es el ocurrido el 11 de julio de 1987 con un índice de 1.465,14 y el segundo es el evento del 2 de julio del 2005 con un índice de 1.387,68, también se puede decir que ambos eventos presentan índices superiores al calculado para el evento de julio de 2016.

Además, al analizar la serie de oleaje de esta playa se pudo constatar que existen años donde ocurren numerosos eventos extremos y que presentan alturas que superan los 2,5 [m]. Algunos de estos años son 1980, 1982, 1987, 1988, 1996, 1997, 2002, 2005, 2012 y 2017. Por otro lado, las intensidades de los eventos extremos ha ido aumentando en los últimos años y superan los 3,5 [m].

Figura 8-16: Índice de tormenta de eventos extremos ocurridos entre 1979-2017, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

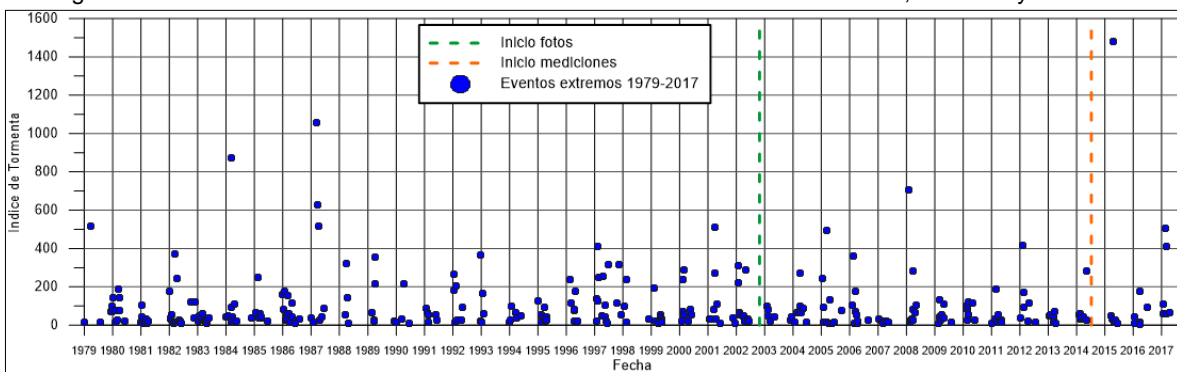
### 8.4.2 EVENTOS EXTREMOS: PLAYA PLACERES Y PORTALES

Del análisis de la serie de oleaje, se identificaron los eventos extremos presentes entre 1979 y 2017. Al conocer estos eventos se pudo obtener su índice de tormenta y compararlo con los eventos del 8 de agosto del año 2015 y del 25 de junio del año 2017. En la Figura 8-17 se presentan los eventos identificados y caracterizados de acuerdo a su índice de tormenta.

En conclusión, se puede constatar que no se presentan condiciones de oleaje de las mismas características de los eventos extremos señalados. Además, estos valores son menores a los presentados por el evento del 2015 en playas Placeres y Portales. El evento con el índice más cercano al presentado por el evento de agosto del 2015 es el ocurrido el 11 de julio de 1987 con un índice de 1.055,60 y tiene una altura significativa de 3,61 [m], con una duración de 81 horas.

Asimismo, al analizar la serie de oleaje de esta playa se pudo constatar que existen años donde ocurren numerosos eventos extremos y que presentan alturas que superan los 2 [m]. Algunos de estos años son 1980, 1982, 1984, 1987, 1988, 1996, 1997, 2000, 2001, 2002, 2005, 2012 y 2017. Por otro lado, las intensidades de los eventos extremos ha ido aumentando en los últimos años y superan los 3 [m].

Figura 8-17: Índice de tormenta de eventos extremos ocurridos entre 1979-2017, Placeres y Portales.



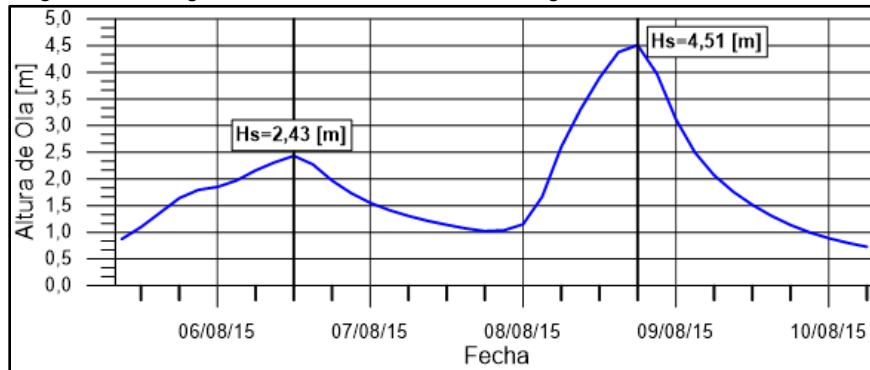
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS EXTREMOS DE OLAJE

#### 8.4.3.1 CARACTERÍSTICAS EVENTO DEL 8 DE AGOSTO DE 2015

Para el caso del registro en playa Caleta Abarca, las condiciones de oleaje que se presentaron durante el evento del 8 de agosto del año 2015 corresponden a oleaje con direcciones WNW. Se identifican dos olas dentro del evento que se inició en la mañana del 5 de agosto y finalizó el 10 de agosto en la mañana. La ola que caracterizó este evento se presentó el 8 de agosto en la tarde y tuvo una altura significativa de 4,51 [m], un periodo peak de 11,45 [s] y dirección NW [321,50°]. La otra ola que se observa en el registro ocurrió el 6 de agosto de 2015 en la mañana, tuvo una altura de 2,43 [m] con un periodo peak de 7,69 [s] y proveniente del NW [324,90°]. A continuación, se muestra en la Figura 8-18 el registro de alturas para el evento de agosto de 2015.

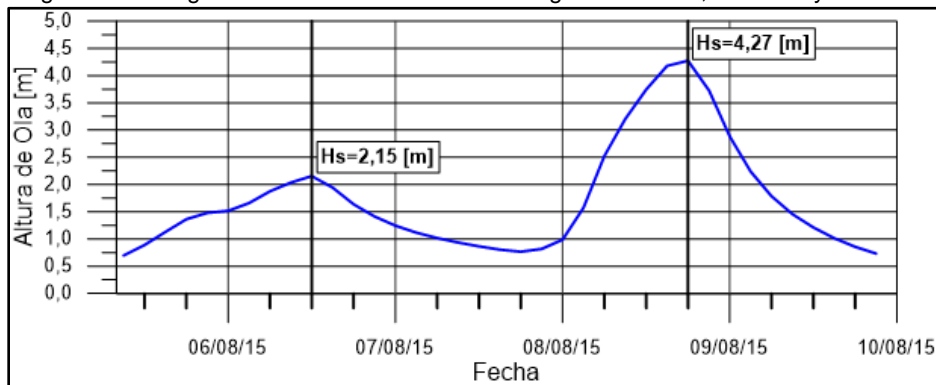
Figura 8-18: Registro de alturas evento del 8 de agosto de 2015, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

En general en el registro de serie de oleaje para las playas Placeres y Portales, las condiciones de oleaje que se presentaron durante el evento del 8 de agosto del año 2015 corresponden a oleaje con direcciones WNW. Del procesamiento de los datos de oleaje para este evento se identifican dos olas dentro del evento que se inició en la mañana del 5 de agosto y finalizó el 9 de agosto en la noche. La ola que caracterizó este evento presentó una altura significativa de 4,27 [m], un periodo peak de 11,37 [s] y dirección NNW [335,60°]. La otra ola que ocurrió el 6 de agosto de 2015 presentó una altura significativa de 2,15 [m], un periodo peak de 7,66 [s] y proveniente del NNW [339,40°]. A continuación, se muestra en la Figura 8-19 el registro de alturas para el evento de agosto de 2015.

Figura 8-19: Registro de alturas evento del 8 de agosto de 2015, Placeres y Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

#### 8.4.3.2 CONDICIONES DE MAREA EVENTO 8/08/2015

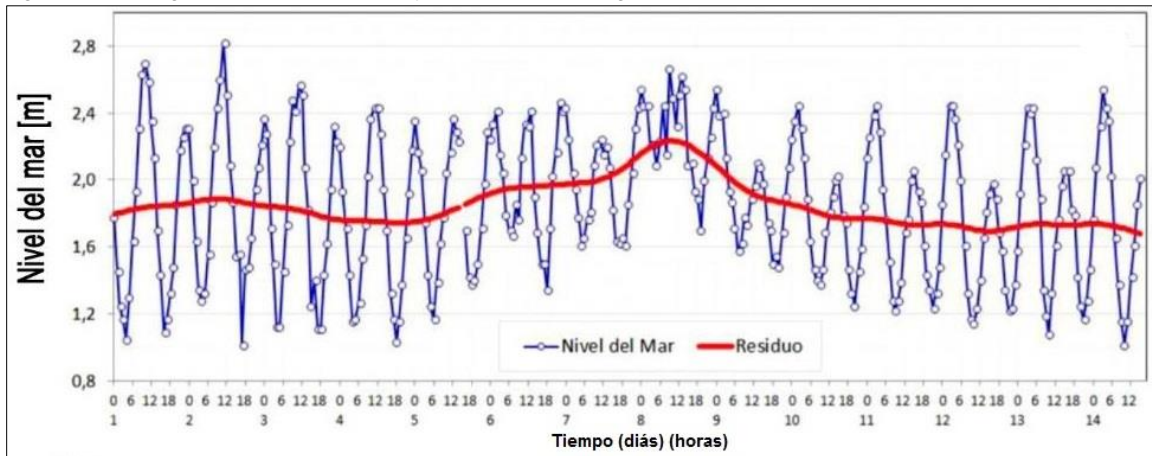
No se pudo obtener un registro de las condiciones de marea en el momento del evento del 8/08/2015, porque el instrumento de la COI falló y entregó datos erróneos. En general de los datos obtenidos antes que fallara la medición, se observó un aumento en el rango mareal respecto a la pleamar y la bajamar. Antes del evento se observa un rango mareal de 2,01 [m].

Además, analizando lo señalado por Winckler et al., (2017) se debe considerar la marea meteorológica. En este estudio se presentan todos los fenómenos involucrados en el desarrollo del evento del 8 de agosto del año 2015 y respecto a la marea meteorológica

menciona que alcanzó valores entre 0,3 a 0,4 [m], estos resultados evidencian un efecto de barómetro invertido que se asoció a una disminución entre 10 y 20 (Hpa) que permiten explicar los aumentos del nivel del agua señalados. También se analizaron los vientos en este trabajo, presentando registros de la velocidad del viento medido en 38 estaciones meteorológicas. En relación a lo anterior, el día 8 de agosto se aprecia que las estaciones cercanas a Valparaíso registraron vientos de hasta 37 [m/s<sup>-1</sup>] y sus direcciones variaron entre NNW y S.

El registro de la marea meteorológica obtenido por Winckler et al., (2017), se presenta en la Figura 8-20.

Figura 8-20: Registro del nivel del mar y marea meteorológica de Valparaíso durante el evento del 8/08/2015.

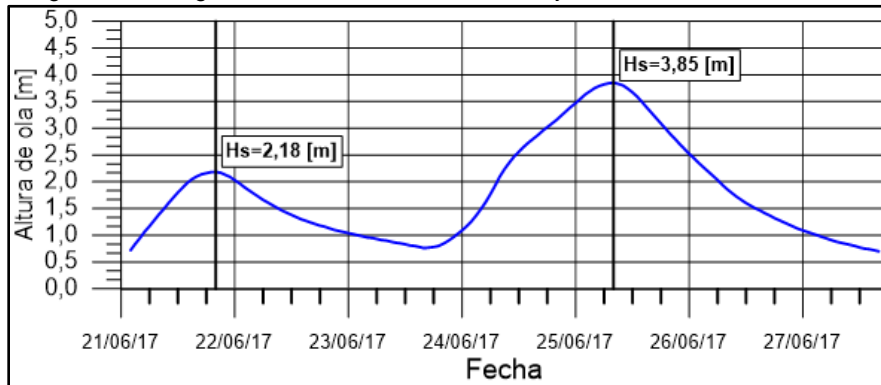


Fuente: Winckler et al., (2017).

#### 8.4.4 CARACTERÍSTICAS EVENTO DEL 25 DE JUNIO DE 2017

En general para el caso de playa Caleta Abarca, las condiciones de oleaje que se presentaron durante el evento del 25 de junio del año 2017, corresponden a oleaje con direcciones WNW. Del procesamiento de los datos de oleaje para este evento extremo, se identifican dos olas dentro del evento que se inició en la mañana del 22 de junio y finalizó el 27 de junio en la tarde. La ola que caracterizó este evento presentó una altura significativa de 3,85 [m], un periodo peak de 12,20 [s] y dirección WNW [302,20°]. La otra ola que ocurrió el 22 de junio de 2017 presentó una altura significativa de 2,18 [m], un periodo peak de 7 [s] y dirección del WNW [293,20°]. A continuación, se muestra en la Figura 8-21 el registro de alturas para el evento del 25 de junio de 2017, donde se puede observar lo señalado anteriormente.

Figura 8-21: Registro de alturas evento del 25 de junio de 2017, Caleta Abarca.

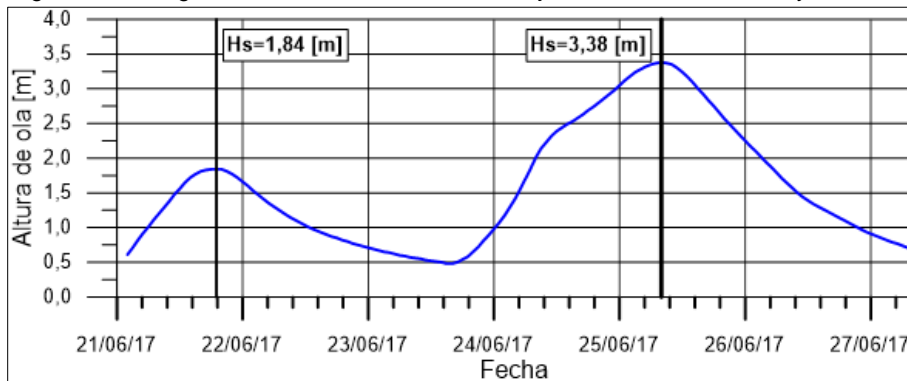


Fuente: Elaboración Propia.

Para las playas Placeres y Portales, las condiciones de oleaje que se presentaron durante el evento del 25 de junio del año 2017 corresponden a oleaje con direcciones NNW. Del procesamiento de los datos de oleaje para este evento extremo, se identifican dos olas dentro del evento que se inició en la tarde del 22 de junio y finalizó el 27 de junio en la tarde. La ola que caracterizó este eventos se presentó el 25 de junio en la tarde con una altura significativa de 3,38 [m], un periodo peak de 11,90 [s] y dirección NNW [329,5°]. La otra ola que ocurrió el 22 de junio en la tarde presentó una altura significativa de 1,84 [m], un periodo peak de 6,8 [s] y proveniente del NNW [339,20°].

A continuación, se muestra en la Figura 8-22 el registro de alturas para el evento del 25 de junio de 2017 y donde se puede observar lo señalado anteriormente.

Figura 8-22: Registro de alturas evento del 25 de junio de 2017, Placeres y Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

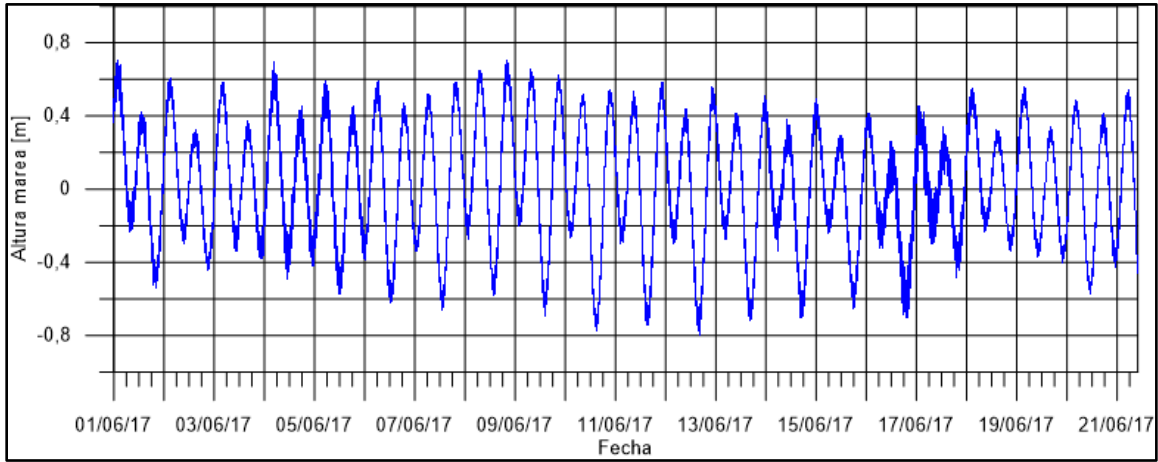
#### 8.4.4.1 CONDICIONES DE MAREA EVENTO 25/06/2017

Del registro de la estación de monitoreo del nivel del mar proporcionado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO, se obtuvo un registro de las condiciones de marea en el momento del evento del 25 de junio de 2017 y se analizó el comportamiento de este factor en el nivel del mar.

En general, se observó un aumento en el rango mareal respecto a la pleamar y la bajamar. Antes del evento se observa un rango mareal de 1,51 [m], pero en el transcurso del evento

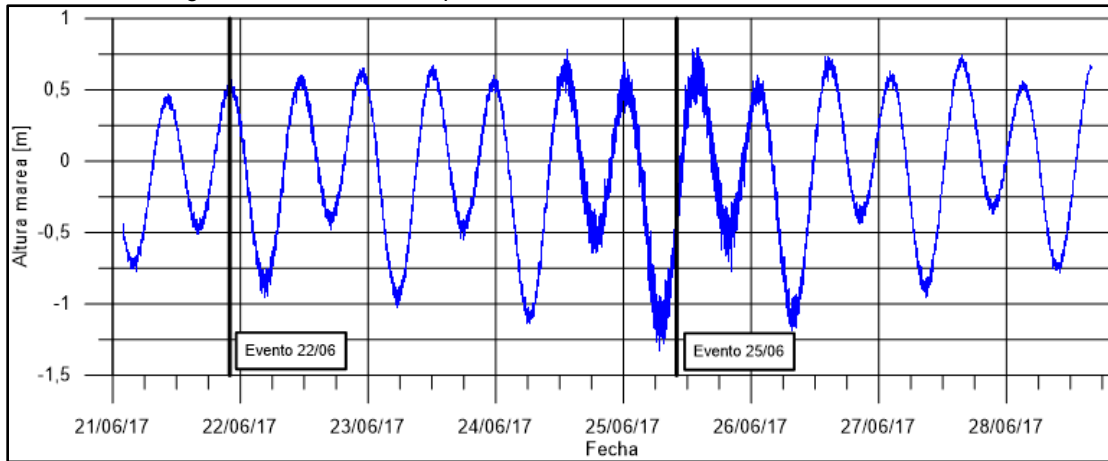
el rango mareal aumentó a 2,13 [m]. En la Figura 8-23 se muestra una serie con la marea antes del evento y en la Figura 8-24 se presenta el registro durante el evento señalado.

Figura 8-23: Serie de tiempo de marea antes del evento del 25/06/2017.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-24: Serie de tiempo de marea durante del evento del 25/06/2017.



Fuente: Elaboración Propia.

## **8.5 COMPARACIÓN ENTRE LOS EFECTOS PRODUCIDOS POR EL EVENTO DE AGOSTO DE 2015 Y EVENTO DE JUNIO 2017**

Como ya se señaló, las playas quedaron con un considerable daño provocado por el evento de agosto del año 2015. Esto ha generado que los eventos posteriores tengan mayores efectos erosivos sobre las playas, aunque presenten intensidades inferiores a las que tuvo el evento del 8 de agosto.

De acuerdo a lo presentado en el capítulo anterior, se analizan las características de los eventos ocurridos el 8 de agosto del 2015 y el 25 de junio de 2017. Se estudian los daños ocasionados por ambos eventos y se presenta una comparación de la respuesta de las playas para ambos casos.

### **8.5.1 EFECTOS EN PLAYA PORTALES**

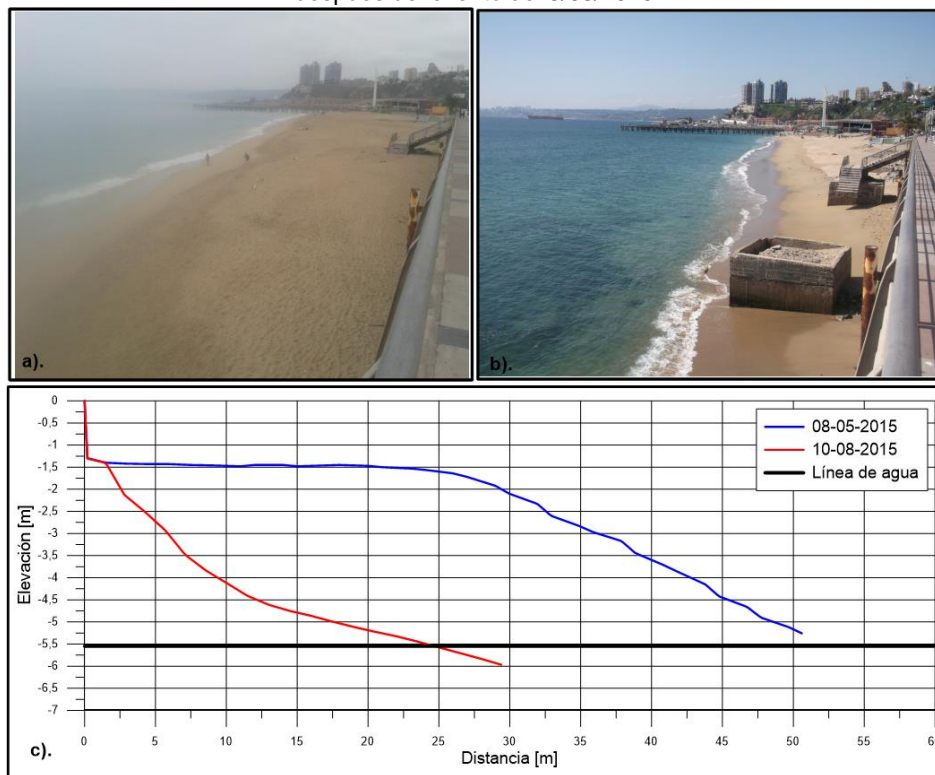
#### **8.5.1.1 EVENTO 8 DE AGOSTO DE 2015**

De los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto de 2015 se cuenta con diferentes análisis realizados al respecto. De las campañas de medición realizada se cuenta con fotografías tomadas antes del temporal del 8 de agosto de 2015 y después de este, y mediciones de perfiles transversales.

De los estudios realizados sobre los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto de 2015, (Winckler et al., 2017) y (Molina et al., 2015) señalan que en la playa Portales se presentaron diferentes daños tanto estructurales como de erosión en la playa. Los daños asociados a las estructuras costeras existentes en este sector se observaron principalmente en el muelle nuevo inaugurado en 2005 y la obra correspondiente a las instalaciones de los pescadores. Por otro lado, este evento extremo generó la mayor erosión en el perfil nº3, pero los mayores descensos verticales se presentaron en el perfil nº4 con un descenso de 4 [m]. Además, produjo un retroceso de la línea de costa de aproximadamente 20 [m] y alcanzó un volumen total erosionado de 38.510 [m<sup>3</sup>], que se estimó en base a mediciones de perfiles transversales realizados antes y después de este evento.

En la Figura 8-25 se observa que la primera fotografía corresponde al mes de mayo de 2015 donde la playa se encuentra a finales del periodo de acreción y la imagen de la derecha corresponde a la playa en septiembre de 2015. En la fotografía posterior al evento del 2015 se observa una erosión severa de la playa, donde quedan a la vista estructuras y las bases del paseo costero. Lo presentado en las fotografías se puede confirmar con las mediciones en terreno, donde se observa el considerable retroceso que sufrió la línea de costa.

Figura 8-25: Cambios en el perfil transversal n°4 de playa Portales por el evento del 8/08/2015. a) Fotografía mayo de 2015, b) Fotografía septiembre de 2015, c) Comparación perfiles transversales antes y después del evento del 8/08/2015.



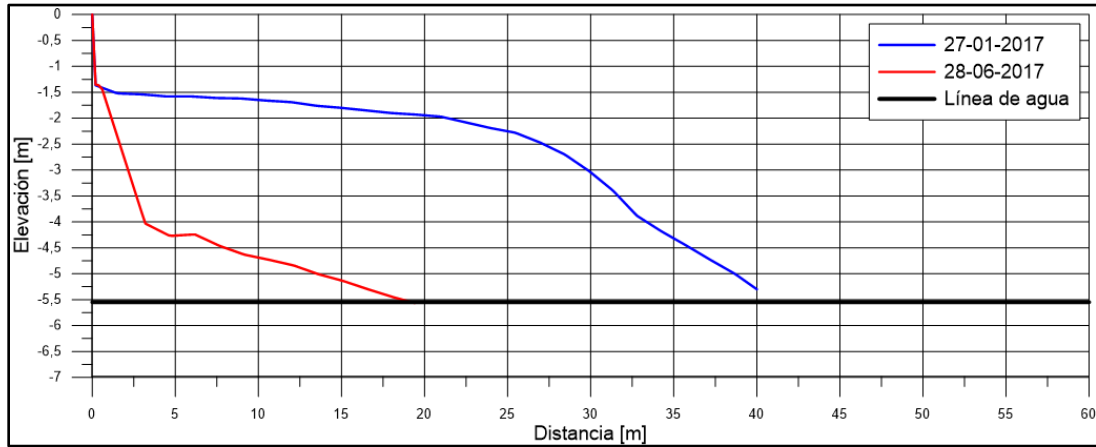
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.1.2 EVENTO 25 DE JUNIO DE 2017

De los daños ocasionados por el evento del 25 de junio del 2017 se cuenta con diferentes análisis elaborados al respecto. De las campañas de mediciones ejecutadas se cuenta con fotografías tomadas antes del evento y después de este, y mediciones de perfiles transversales.

Se observó en terreno que en la playa Portales se presentaron daños erosivos en la playa, que generaron un retroceso de la línea de costa de aproximadamente 23 [m] en el perfil n°3 y de 22,20 [m] para el caso del perfil n°4. Además, produjo descensos verticales del orden de 3 [m] para ambos perfiles. En la Figura 8-26 se presenta el perfil transversal n°4 medido antes y después del evento del 25 de junio de 2017.

Figura 8-26: Comparación del perfil transversal nº4 de playa Portales, antes y después del evento del 25/06/2017.



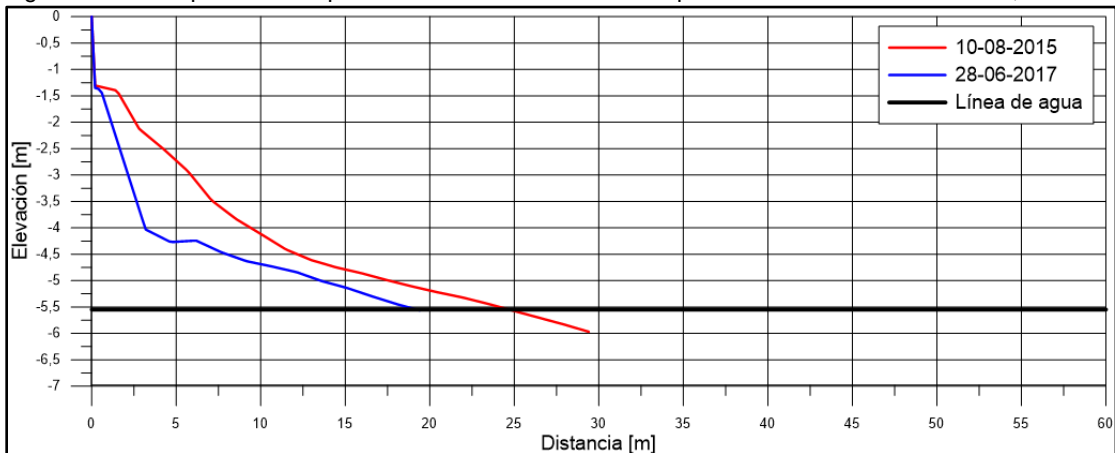
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.1.3 COMPARACIÓN DE AMBOS EVENTOS

A través de la Figura 8-27 se puede comprobar que en esta playa los efectos erosivos producidos por el evento de junio de 2017 fueron mayores que los registrados en agosto del año 2015. Se observa que el perfil nº4 registrado el 28/06/2017 retrocedió aún más que lo presentado en la medición del 10/08/2015, lo que junto al registro de mediciones de perfiles obtenido entre el año 2015 y 2017 permite confirmar que la playa de Portales hasta fines del año 2017 no se ha recuperado de la severa erosión provocada por el evento del 8 de agosto de 2015.

Un punto importante de señalar, es el hecho de que el evento del 25 de junio de 2017 produjo una mayor erosión porque afectó una playa que se encontraba erosionada. Esto se confirma al analizar los registros de mediciones, los cuales evidencian que la playa todavía no se recuperaba de los daños erosivos provocados por el evento del 8 de agosto de 2015.

Figura 8-27: Comparación del perfil transversal nº4 medido después de los eventos analizados, Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

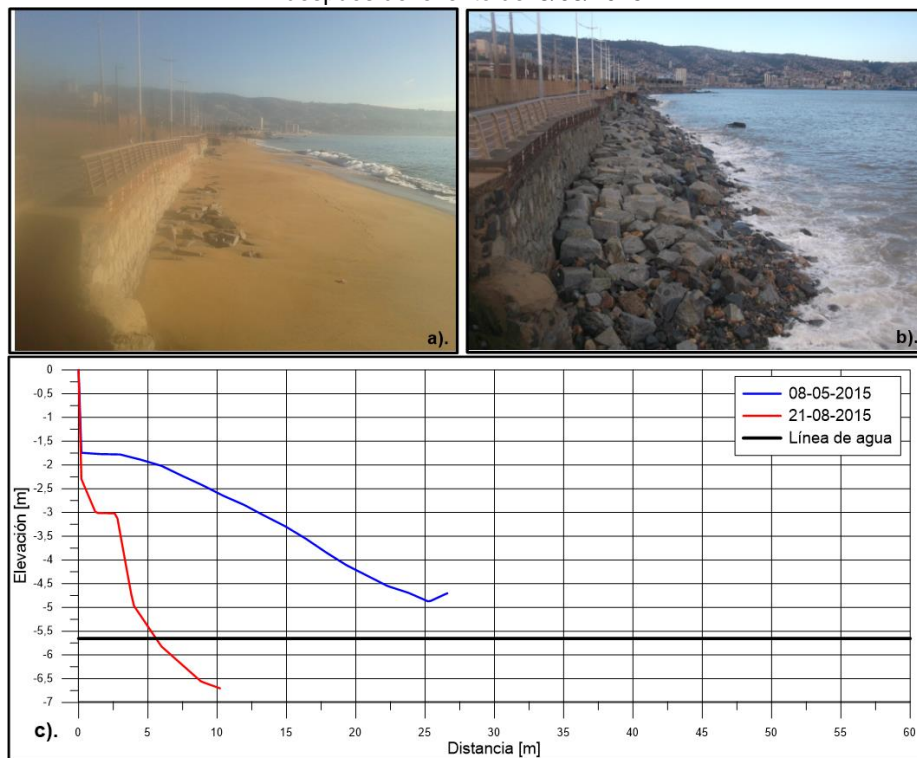
## 8.5.2 EFECTOS EN PLAYA PLACERES

### 8.5.2.1 EVENTO 8 DE AGOSTO DE 2015

De los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto del año 2015 se cuenta con diferentes análisis realizados al respecto. De las campañas de medición realizada se cuenta con fotografías tomadas antes del temporal del 8 de agosto de 2015 y después de este, y mediciones de perfiles transversales.

En el siguiente recuadro (Figura 8-28), se observa que la primera fotografía corresponde al mes de mayo de 2015 donde la playa se encuentra a finales del periodo de acreción y la imagen de la derecha corresponde a un par de días después del evento de agosto de 2015. En la fotografía posterior al evento del 2015 se observa una erosión severa de la playa, donde quedan a la vista las bases del paseo costero y no hay presencia de material sedimentario. Esto se confirma con las mediciones de perfiles que se presentan en el gráfico que le continúa a las imágenes, donde se observa un notable retroceso en el perfil n°2.

Figura 8-28: Cambios en el perfil transversal n°2 de playa Placeres por el evento del 8/08/2015.  
a) Fotografía mayo de 2015, b) Fotografía agosto de 2015, c) Comparación perfil transversal n°2 antes y después del evento del 8/08/2015.



Fuente: Elaboración Propia.

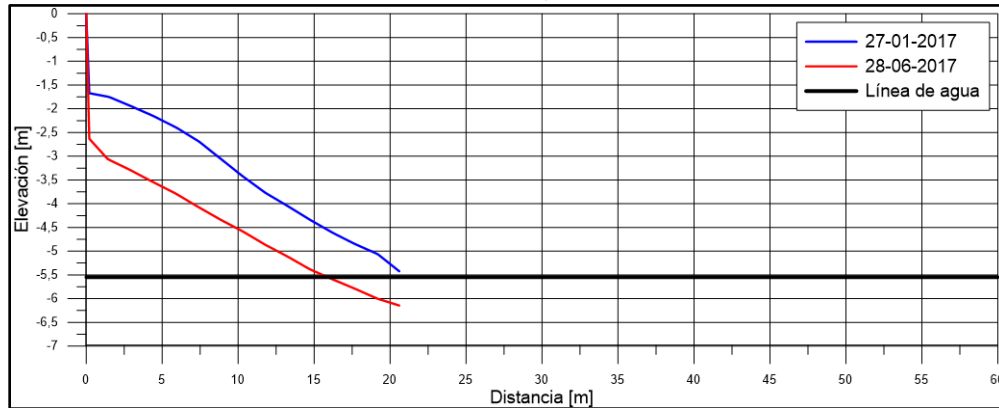
De los estudios realizados sobre los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto de 2015, (Molina et al., 2015) señala que la playa Placeres experimentó un descenso de 3 [m] en el perfil n°1 y n°3, y de 4,5 [m] en el perfil n°2. Además, de un retroceso de 18 a 22 [m] y un volumen total erosionado de 34.698 [m<sup>3</sup>], que se estimó en base a mediciones de perfiles transversales realizados antes y después de este evento.

### 8.5.2.2 EVENTO 25 DE JUNIO DE 2017

De los daños ocasionados por el evento del 25 de junio del 2017 se cuenta con diferentes análisis elaborados al respecto. De las campañas de mediciones ejecutadas se cuenta con mediciones de perfiles transversales antes y después de este evento.

El daño del evento erosivo directamente sobre la playa produjo descensos verticales del orden de 1 [m] para el caso de todos los perfiles. A continuación, en la Figura 8-29 se presenta el registro de medición antes y después de este evento para el caso del perfil n°2 de esta playa.

Figura 8-29: Comparación perfil transversal n°2 antes y después del evento del 25/06/2017, Placeres.

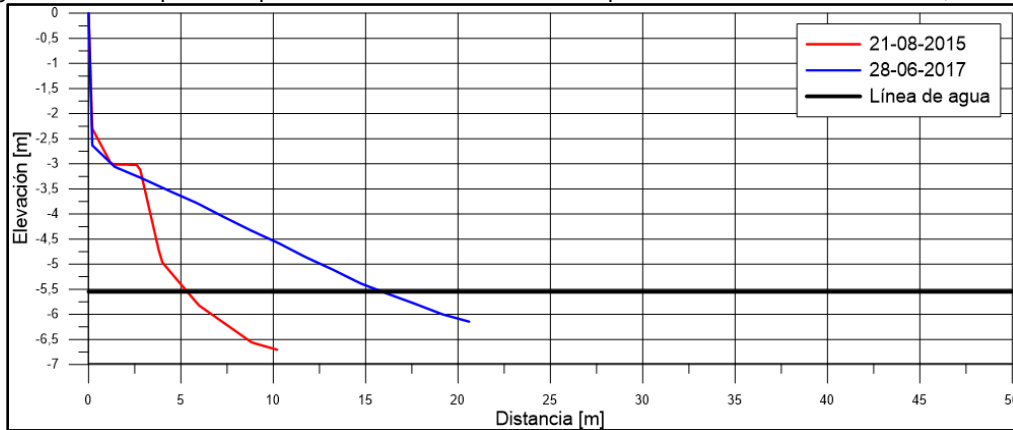


Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.2.3 COMPARACIÓN DE AMBOS EVENTOS

En esta playa no es tan evidente que el daño generado por el evento de junio de 2017 sea mayor al ocurrido en agosto de 2015, pero esto permite considerar que la orientación de la playa, las características de la ola, periodo y dirección podrían disminuir el efecto del evento sobre esta. A continuación, en la Figura 8-30 se presenta el registro de medición antes y después de este evento para el caso del perfil n°2 de esta playa.

Figura 8-30: Comparación perfil transversal n°2 medido después de los eventos analizados, Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.3 EFECTOS CALETA ABARCA

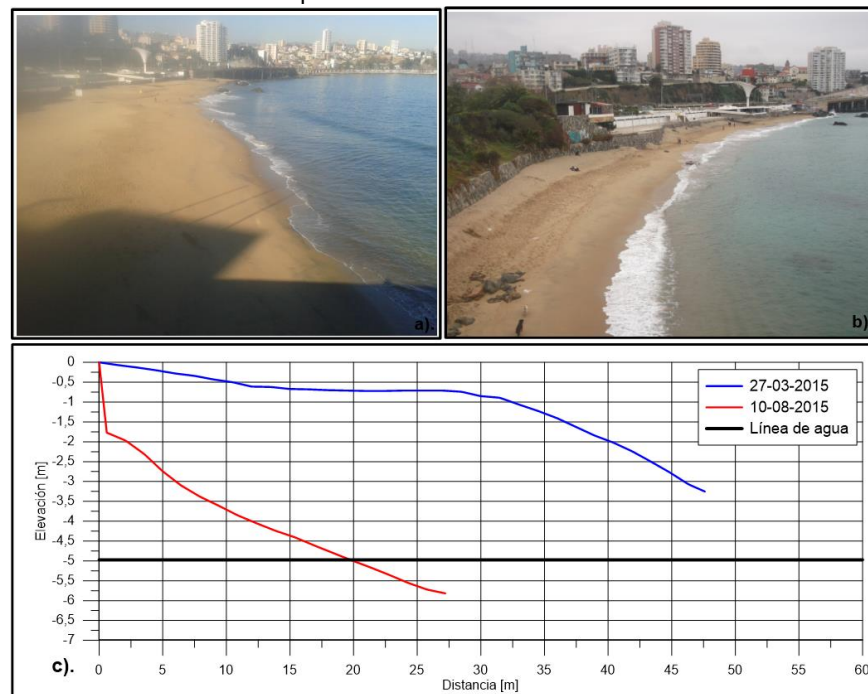
#### 8.5.3.1 EVENTO 8 DE AGOSTO DE 2015

De los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto de 2015 se cuenta con diferentes análisis realizados al respecto. De las campañas de medición realizada se tienen fotografías tomadas antes del temporal del 8 de agosto de 2015 y después de este, y mediciones de perfiles transversales.

En el siguiente recuadro, se observa que la primera fotografía corresponde al mes de marzo de 2015 donde la playa se encuentra durante su periodo de acreción y la imagen de la derecha corresponde a un par de días después del evento de agosto de 2015. En la fotografía posterior al evento del 2015 se observa una erosión severa de la playa, donde los perfiles transversales han retrocedido cuantiosamente y ha disminuido considerablemente el volumen de material sedimentario.

De los estudios realizados sobre los daños ocasionados por el evento del 8 de agosto de 2015, (Molina et al., 2015) señala que la playa Caleta Abarca experimento su mayor descenso vertical en el perfil n°1 con 3,8 [m], ya que en los restantes perfiles fue de entre 2 y 3 [m]. Además, de un retroceso máximo cercano a los 25 [m] y un volumen de erosión que alcanzó los 30.615 [m<sup>3</sup>] estimados en base a mediciones de perfiles transversales realizados antes y después de este evento. A continuación, en la Figura 8-31 se presenta el registro de medición antes y después de este evento para el caso del perfil n°1 de esta playa.

Figura 8-31: Cambios en el perfil transversal n°1 de playa Caleta Abarca por el evento del 8/08/2015  
a) Fotografía marzo de 2015, b) Fotografía agosto de 2015, c) Comparación perfil transversal n°1 antes y después del evento del 8/08/2015.



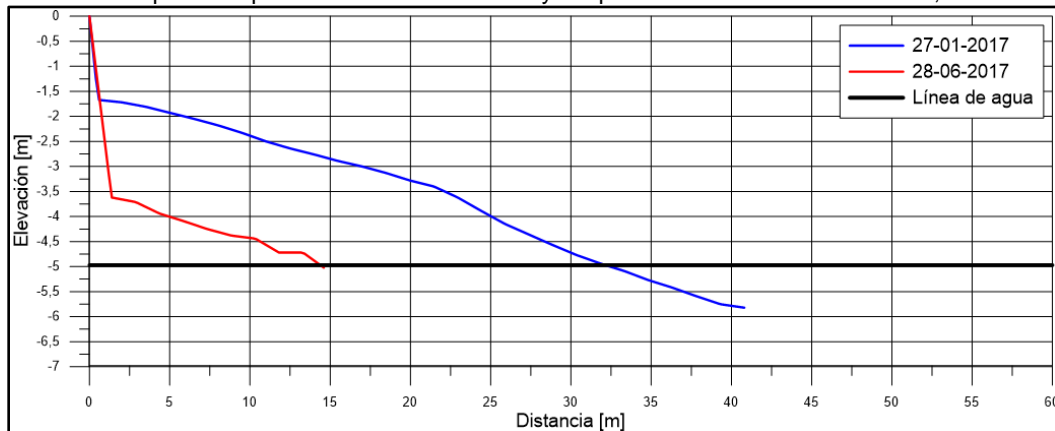
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.3.2 EVENTO 25 DE JUNIO DE 2017

De los daños ocasionados por el evento del 25 de junio del 2017 se cuenta con diferentes análisis elaborados al respecto. De las campañas de mediciones ejecutadas se cuenta con mediciones de perfiles transversales antes del evento y después de este.

El daño del evento erosivo directamente sobre la playa generó un retroceso de la línea de costa mayor de 10 [m] en todos los perfiles. Además, produjo descensos verticales del orden de 2,5 [m] para todos los perfiles. En la Figura 8-32 se presenta el registro de medición antes y después de este evento para el caso del perfil n°1 de esta playa.

Figura 8-32: Comparación perfil transversal n°1 antes y después del evento del 25/06/2017, Caleta Abarca.



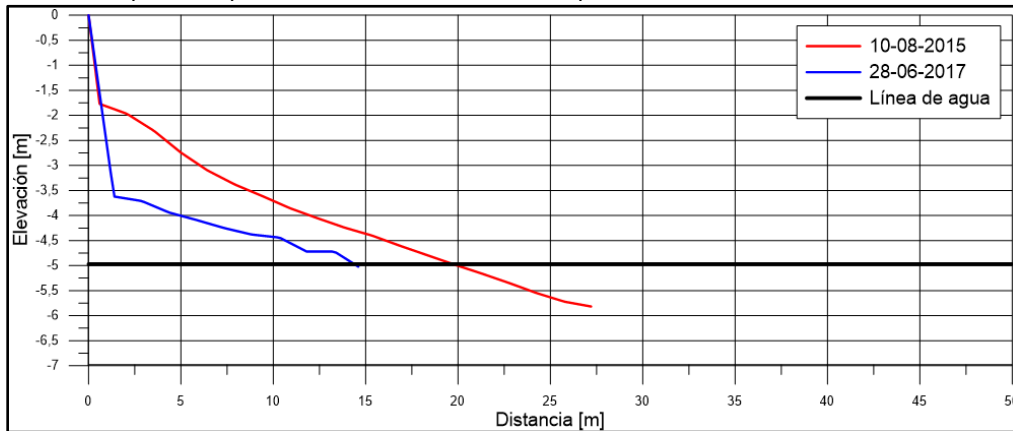
Fuente: Elaboración Propia.

### 8.5.3.3 COMPARACIÓN DE AMBOS EVENTOS

En esta playa se evidencia una erosión mayor que la generada por el evento del 8 de agosto de 2015, la cual es producida por el evento de junio de 2017. Lo señalado anteriormente, se puede confirmar con las mediciones en terreno realizadas en fechas cercanas a estos eventos.

En la Figura 8-33 se muestra el comportamiento del perfil n°1, donde se registró un ancho de 27,2 [m] con fecha 10/08/2015 y de 14,6 [m] para la medición realizada el 28/06/2017. De lo anterior, se puede señalar que existe una diferencia de 12,6 [m] entre los anchos registrados y que el mayor retroceso fue provocado por el evento de junio de 2017.

Figura 8-33: Comparación perfil transversal n°1 medido después de los eventos analizados, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

## 8.6 CARACTERIZACIÓN DE CASOS DE ESTUDIO

### 8.6.1 CASOS DONDE NO ES TAN VISIBLE EL EFECTO DEL MURO

Dentro de esta categorización se consideran los sectores donde el muro se encuentra a una misma distancia de la zona de interacción con el oleaje a lo largo de la playa, por lo que no se observa un efecto diferenciado.

Se pudo identificar que la playa Placeres está dentro de esta clasificación:

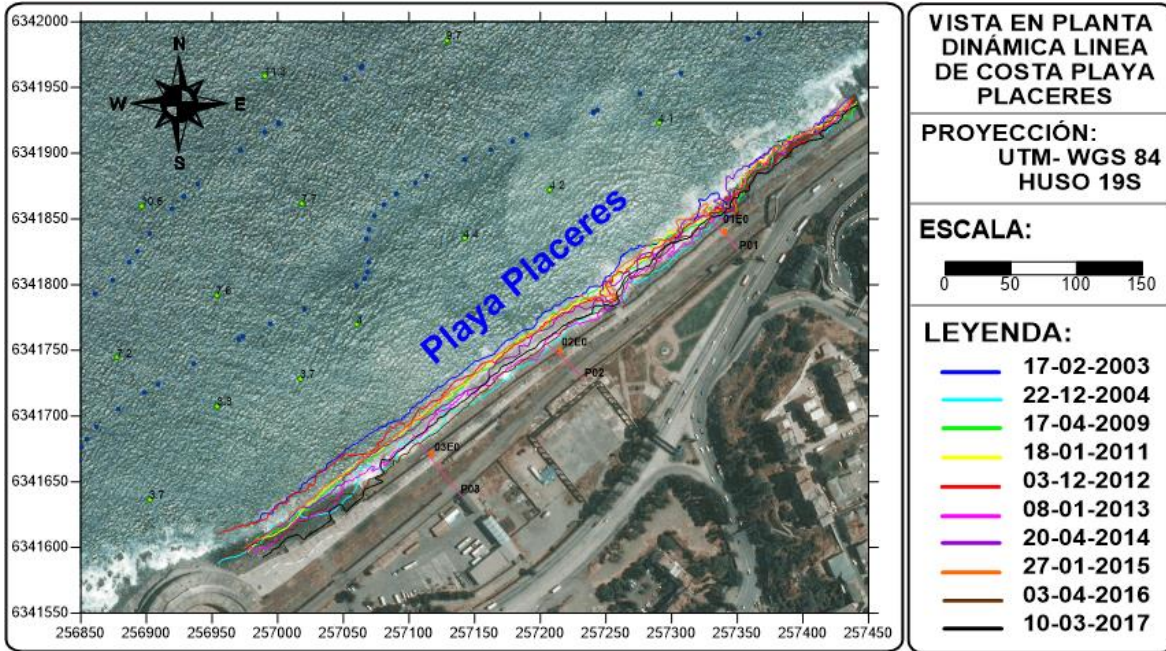
#### 8.6.1.1 PLAYA PLACERES

En esta playa se realizó una revisión de fotografías referenciadas registradas por el programa Google Earth, de lo que se obtuvieron referencias de la línea de costa de la playa Placeres desde el año 2003 hasta el presente.

En la Figura 8-34, se presentan los máximos registrados por el programa en cada año y se evidencia el considerable retroceso que ha sufrido la línea de costa. En la Figura 8-35, se observan los mínimos registrados por el programa en cada año y también se observa un retroceso en la línea de costa.

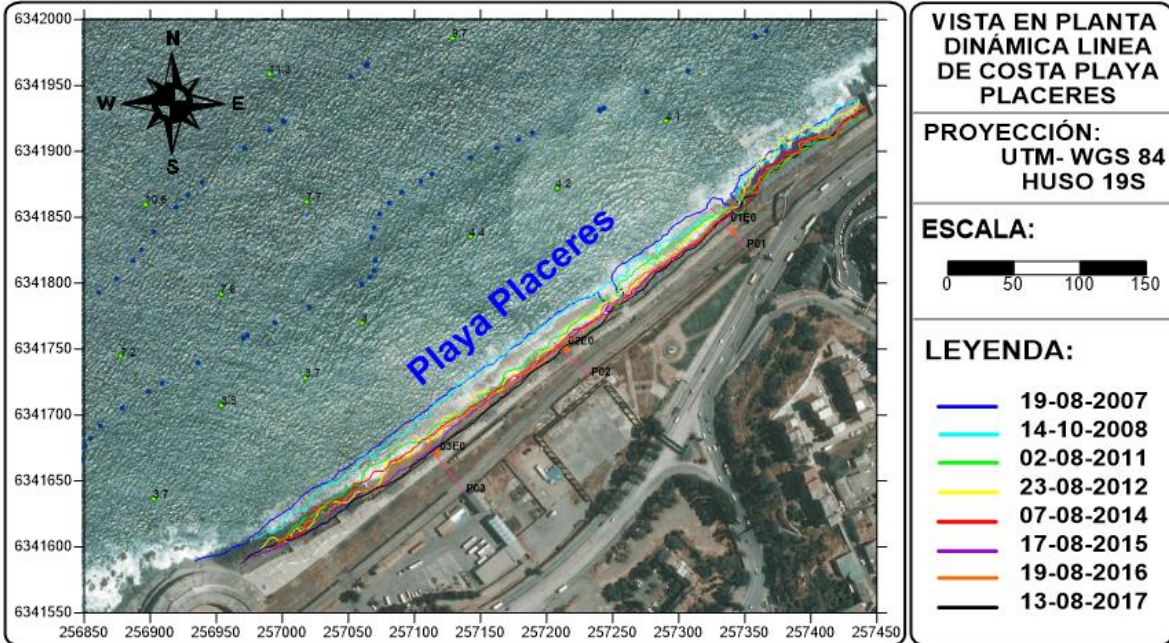
De las fotografías se puede señalar, que tras los eventos del 8 de agosto de 2015 y 25 de junio de 2017 la playa desaparece completamente y que la línea de costa se encuentra al pie del muro del paseo costero. La playa presentó su mayor extensión el 17 de febrero de 2003 y su mínima extensión el 13 de agosto de 2017. Además, no se evidencia un pivoteo de la playa al analizar las diferentes posiciones de la línea de costa a nivel anual y posterior al evento de 2015 recupera un porcentaje importante del sedimento, pero no su totalidad.

Figura 8-34: Vista en planta de la posición de la costa en playa Placeres durante verano.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-35: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Placeres durante invierno.



Fuente: Elaboración Propia.

## 8.6.2 CASOS DONDE PARTE DE LA PLAYA HA SIDO AFECTADA POR EL MURO

Dentro de esta categorización se consideran los sectores donde el muro se encuentra a diferentes distancias de la zona de interacción con el oleaje a lo largo de la playa, por lo que se observa un efecto diferenciado en los tramos donde el muro se ubica más cerca de la zona de acción del oleaje. De este análisis se pudo identificar las siguientes playas que han sido afectadas en parte de su extensión.

### 8.6.2.1 PLAYA PORTALES

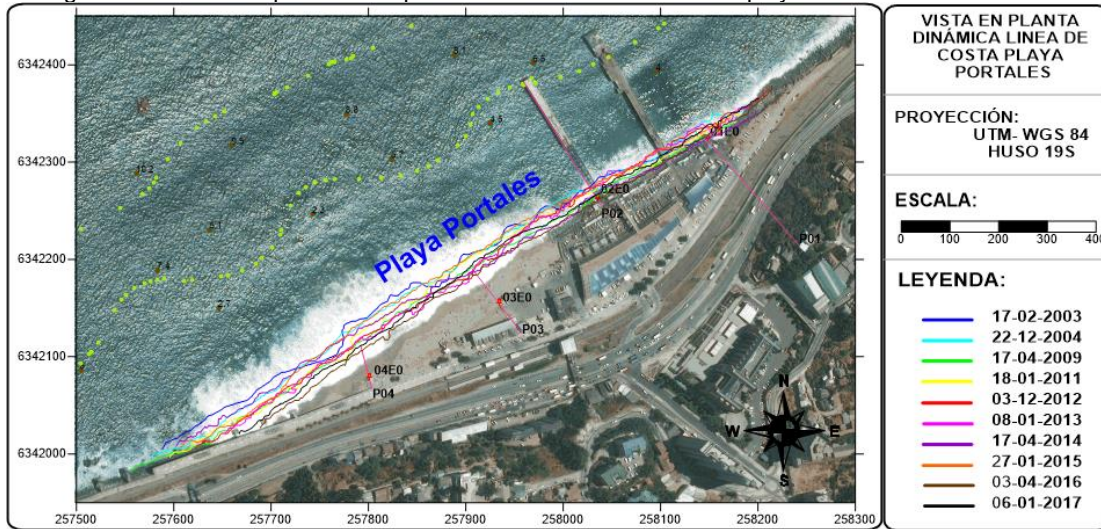
Se realizó una revisión de fotografías referenciadas registradas por el programa Google Earth, de lo que se obtuvieron referencias de la línea de costa de la playa Portales desde el año 2003 hasta el presente.

A continuación, se presentan dos imágenes donde se evidencia el considerable retroceso que ha sufrido la línea de costa de esta playa. En la Figura 8-36 se observan los máximos avances de la línea de costa por cada año, y en la Figura 8-37 se presentan los retrocesos registrados.

De las fotografías se puede señalar, que en el perfil n°4 de esta playa se observan los mayores retrocesos. En específico se identifica que posterior al evento del 8 de agosto de 2015 se presenta el mayor retroceso de la playa en el arranque del perfil n°4, llegando a perderse el perfil por completo. En la Figura 8-38, se evidencia con más detalle el retroceso de este perfil transversal en base a los máximos y mínimos anuales registrados por el programa Google Earth.

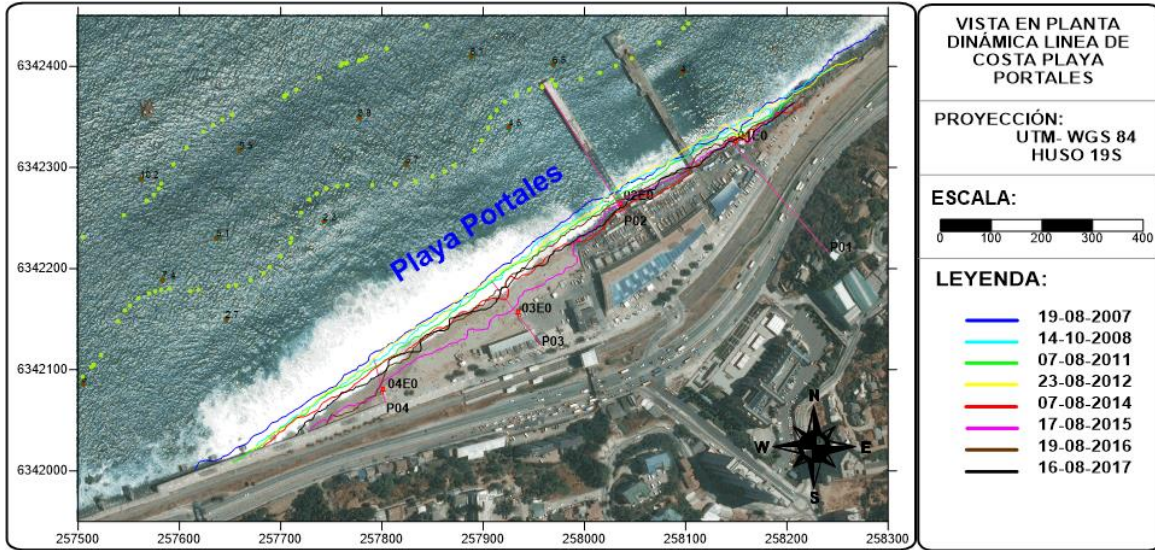
La playa alcanzó su mayor extensión el 17 de febrero de 2003 y su mínima extensión se presenta el 17 de agosto 2015. Se puede constatar además que anualmente no se observa un pivoteo de esta playa, ya que se observa que la línea de costa tanto en el perfil n°3 como en el perfil n°4 van retrocediendo a través de los años.

Figura 8-36: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Portales durante verano.



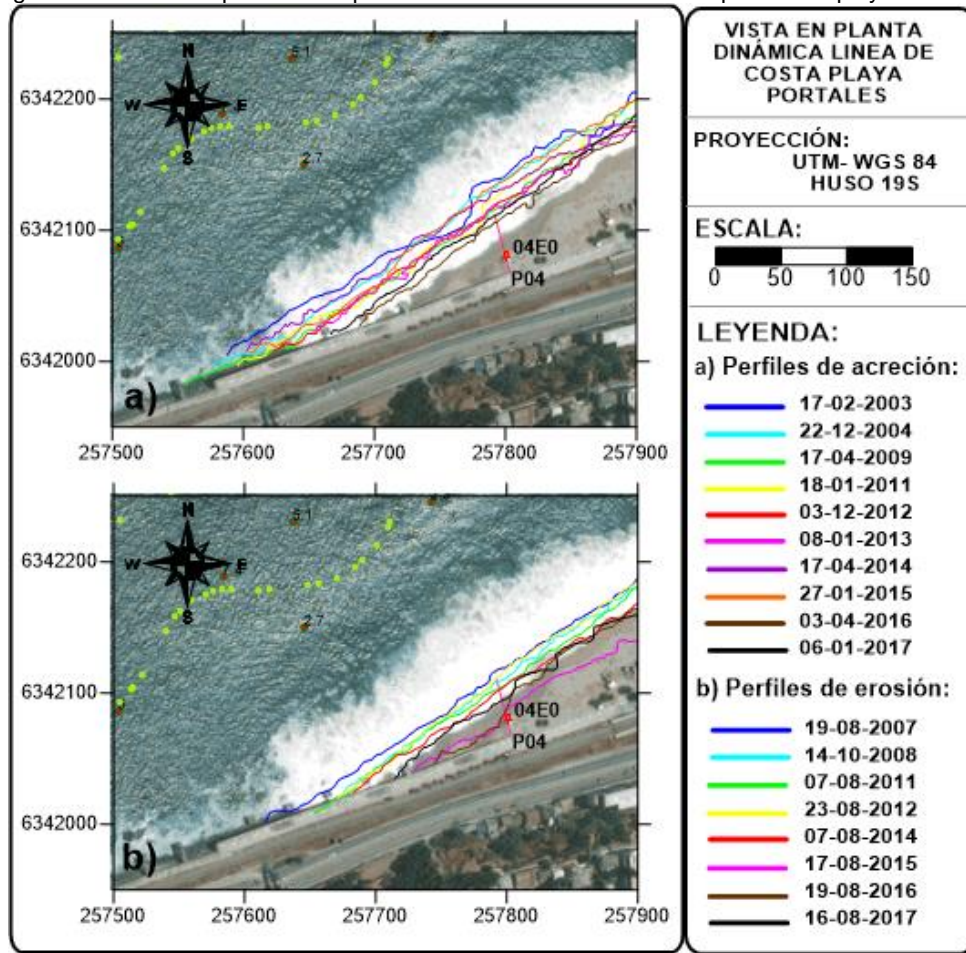
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-37: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Portales durante invierno.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-38: Vista en planta de la posición de la línea de costa en el perfil n°4 - playa Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

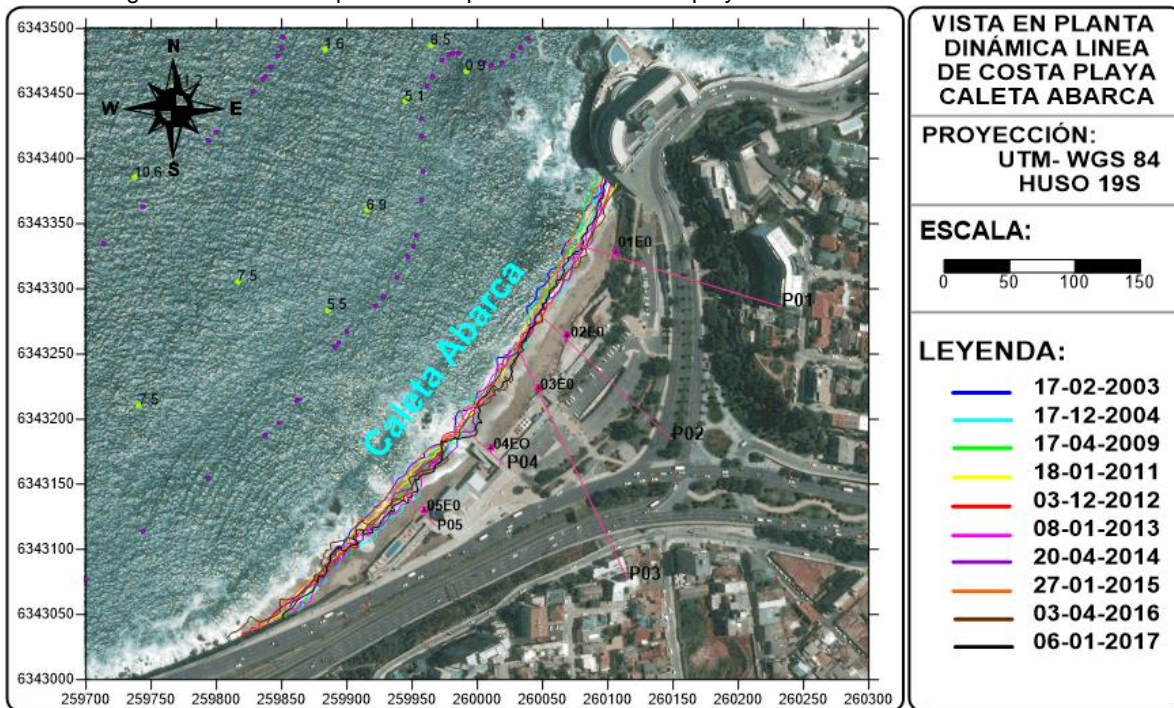
### 8.6.2.2 PLAYA CALETA ABARCA

Se realizó una revisión de fotografías registradas por el programa Google Earth, de lo que se obtuvieron referencias de la línea de costa de la playa Caleta Abarca desde el año 2003 hasta el presente. Esto permitió evidenciar el continuo retroceso que presenta la línea de costa de esta playa.

A continuación, en la Figura 8-39 se presentan los máximos avances de la línea de costa durante cada año registrado y en la Figura 8-40 se observan los máximos retrocesos.

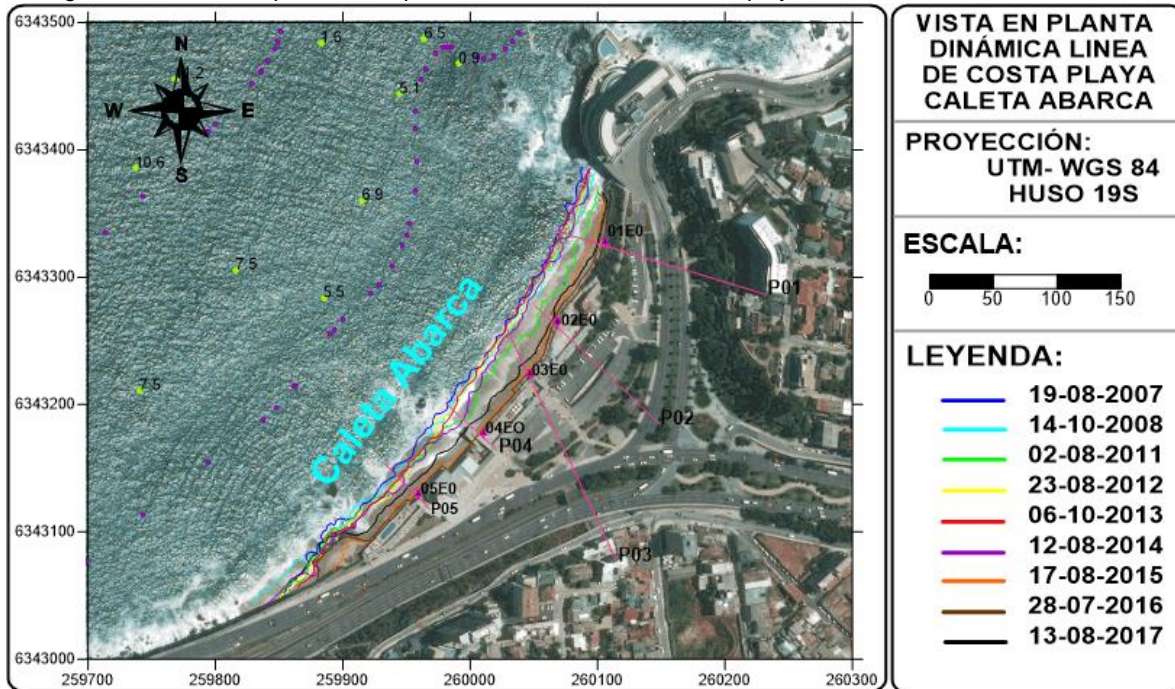
De las fotografías se puede señalar, que los mayores retrocesos se observan para los eventos ocurridos en agosto de 2015 y en junio de 2017. Llegando a erosionar hasta el pie del muro costero en el caso del evento del 8 de agosto de 2015 y en menor medida se erosionó para el evento del 2017, pero no deja de ser una erosión significativa. Además, se observa un retroceso progresivo del sector donde se ubica el perfil n°5 de esta playa.

Figura 8-39: Vista en planta de la posición de costa en playa Caleta Abarca durante verano.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 8-40: Vista en planta de la posición de la línea de costa en playa Caleta Abarca durante invierno.



Fuente: Elaboración Propia.

## **9 DISCUSIONES**

### **9.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Con la revisión bibliográfica realizada se pudo constatar que no existe un consenso sobre la influencia de los muros en las playas y además, se evidencia que existe una limitada comprensión cuantitativa de la interacción entre los muros y las playas, asociado mayoritariamente a periodos de corto plazo. Sin embargo, como ha señalado Pilkey (1980) se ha podido establecer que la degradación de las playas por efecto de los muros es a menudo un fenómeno que implica largos periodos de tiempo.

Se podría confirmar lo mencionado, con los estudios realizados donde se ha establecido que las playas con y sin muro no exhiben comportamiento y variaciones similares con respecto a la erosión y recuperación a corto plazo asociadas con los eventos extremos, y las condiciones de las olas de estos eventos.

El análisis de la influencia de los muros en las playas se plantea como un proyecto de investigación a largo plazo y requiere de un monitoreo de las playas que contemple la documentación de su comportamiento histórico para poder corroborar su efecto. Además, debe considerarse un gran número de factores tanto hidrodinámicos vinculados a la presencia de estructuras como a otros efectos antropogénicos.

### **9.2 COMPARACIÓN ANCHO DE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES EN TERRENO.**

Respecto a los gráficos de comparación de ancho entre las fotografías de vista en planta y las mediciones en terreno, se puede deducir que en los periodos que existe una notable diferencia y que esta fuera del rango de error calculado, esto podría estar relacionado con periodos de tiempo alejados entre la fecha de la fotografía y la campaña de medición, dentro de los cuales se pueden presentarse condiciones de oleaje que provoquen significativos cambios en los anchos.

Las diferencias en los ciclos normales de erosión y acreción de las playas van directamente relacionados con el aumento de eventos extremos presentes durante el transcurso del año, los cuales generan una erosión severa en las playas. También, se observa que posterior al evento del 8 de agosto del año 2015 se presenta un notable retroceso en los anchos de cada uno de los perfiles transversales estudiados.

Además, se puede mencionar que la validación de los datos obtenidos de las fotografías aéreas en base a su comparación con los datos de las mediciones permite ampliar el periodo de análisis del comportamiento de las playas.

### **9.3 COMPARACIÓN DE MÍNIMOS Y MÁXIMOS ANUALES ENTRE AMBOS REGISTROS**

En relación a lo observado en las figuras de comparación de mínimos y máximos anuales entre las fotografías y los registros de mediciones, se puede señalar que posterior al evento del 8 de agosto del año 2015 las playas estudiadas tuvieron un notable retroceso en su

ancho y que hasta fines de 2017 no se han podido recuperar de la severa erosión provocada por este evento.

Tras el análisis del comportamiento de las playas en estudio, se hace evidente que el evento extremo de agosto del año 2015 marco un punto de quiebre respecto a la dinámica que presentaban hasta ese momento las playas en los anchos característicos alcanzados durante sus ciclos de erosión y acreción. Además, con una mayor frecuencia de eventos extremos durante el año se hace más difícil la recuperación del sedimento perdido.

En cuanto al análisis de los anchos de los perfiles, se puede concluir que las playas quedaron bastante resentidas tras la severa erosión provocada por el evento del 8 de agosto y que los eventos posteriores han interrumpido los procesos de recuperación.

#### **9.4 CORRELACIÓN ENTRE DATOS DE EVENTOS EXTREMOS Y LOS CAMBIOS EN EL PERFIL TRANSVERSAL DE LA PLAYA**

Tras el análisis realizado sobre identificar los eventos que generaron los cambios en el perfil de la playa durante el periodo de medición, se pudo establecer qué características debe presentar el evento y clasificar cada uno de ellos de acuerdo al índice de tormenta que se utilizó.

De lo anterior, para identificar correctamente el evento que genera la diferencia en el ancho del perfil es primordial realizar las mediciones del perfil transversal antes y después del evento.

Del análisis realizado, se puede señalar que las condiciones de oleaje con periodos mayores a 10 [s] generan un aumento del perfil transversal de la playa, aunque dependen primordialmente del periodo de duración. Cuando la altura es mayor a 0,70 [m] el evento generará erosión en el perfil.

Lo señalado anteriormente, depende del estado de la playa antes de que sea golpeada por la ola del evento extremo. Esto se refiere a que, si la playa ya está erosionada el evento generara mayor daño que si la playa presenta un perfil transversal ancho.

Por último, se debe señalar que al no contar con mediciones antes y después de cada evento que se identificó, no se pudieron aislar otras características de oleaje que generaran erosión en las playas analizadas. Haciendo notoria la necesidad de un monitoreo sistemático y continuo de la morfodinámica de las playas y las condiciones de oleaje que las afectan.

## 9.5 POSIBLE EFECTO ASOCIADO A LA PRESENCIA DE MUROS

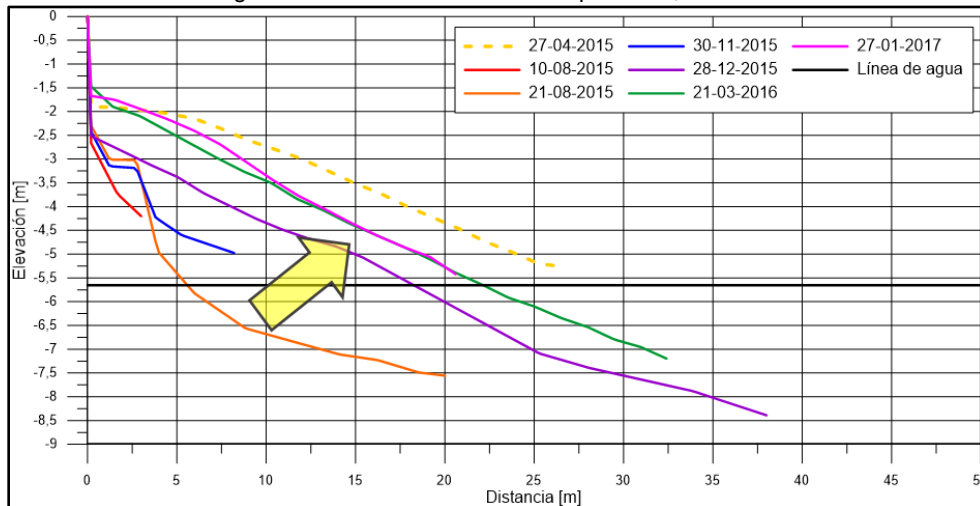
A continuación se presenta una clasificación de los posibles efectos de los muros sobre las playas estudiadas.

### 9.5.1 CASOS DONDE NO ES TAN VISIBLE EL EFECTO: PLAYA PLACERES

De acuerdo al análisis realizado en la playa Placeres, no se ha podido establecer si el muro emplazado a lo largo de playa Placeres ha tenido un efecto sobre esta. Esto se debe a que la playa todavía es capaz de recuperar material sedimentario.

En la Figura 9-1 se observa la evolución de uno de los perfiles de esta playa posterior al evento de agosto de 2015, lo que permite confirmar lo que se ha planteado. El perfil n°2 presenta una gran erosión tras el evento de agosto del 2015 y posteriormente logra recuperarse, pero no alcanza los mismos anchos registrados en el verano antes del evento del 2015. Esto, puede ser atribuido a que durante el evento la interacción muro-oleaje generó que el material sedimentario fuera transportado a una mayor profundidad y que el oleaje encargado del proceso de recuperación no es capaz de transportar el sedimento desde esas profundidades, afectando el proceso de recuperación. Por ello, actualmente los perfiles de esta playa presentan menores anchos aunque un gran porcentaje del sedimento es recuperado.

Figura 9-1: Perfiles medidos en el perfil n°2, Placeres.



Fuente: Elaboración Propia.

En relación a lo anterior, se debe considerar que el paseo costero que se encuentra en esta playa se ubica en la zona intermareal y que en varias ocasiones tras eventos extremos ha quedado al descubierto la base de esta estructura. Para que ocurra lo señalado debe interactuar directamente el oleaje con el muro y generar el transporte del sedimento a aguas más profundas.

Se debe señalar además, que lo que se plantea se refiere a la configuración de esta playa posteriormente al desarrollo del paseo costero que se construyó durante el año 2005 frente a este sector costero. De esto, se puede decir que existe cierto grado de incertidumbre en

los datos obtenidos antes de la fecha señalada, porque al no existir puntos de referencia notoriamente visibles la obtención de los anchos en fechas anteriores a la construcción del paseo poseen un grado mayor de error. Sin embargo, se realizó un análisis de los anchos obtenidos antes y después de la construcción del muro, de lo que se obtuvo que las diferencias entre ambos datos no superan los 5 [m] y no se observan un cambio brusco en los anchos registrados.

Pero la construcción de este muro podría llevar al inicio de una pérdida progresiva de la playa y su recuperación tras cada evento extremo se relacione a la inclinación que presenta el muro. Esto, puede facilitar que los efectos de degradación no sean notorios a corto plazo, pero en un periodo mayor tenga como resultado una pérdida completa de la playa.

## **9.5.2 CASOS DONDE PARTE DE LA PLAYA HA SIDO AFECTADA: PLAYA PORTALES Y PLAYA CALETA ABARCA**

### **9.5.2.1 PLAYA PORTALES**

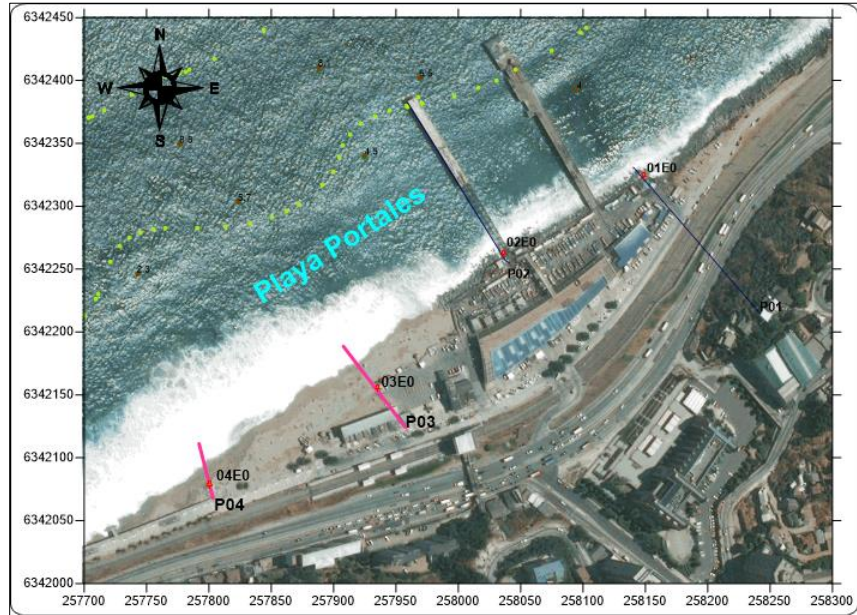
Con respecto a esta caracterización, se presentó evidencia del considerable retroceso que ha sufrido la línea de costa de esta playa, lo que puede ser atribuido al aumento en la intensidad de los eventos extremos que han azotado la bahía de Valparaíso en los últimos años y el desplazamiento de la playa por efecto de la construcción de muros para emplazar paseos costeros.

De lo anterior, se puede argumentar que el perfil nº4 de playa Portales posee un muro cercano a la zona intermareal y con el aumento en la intensidad de los eventos extremos, el oleaje impacta directamente sobre este muro generando reflexión y el aumento de la socavación en la base de la estructura.

Sobre la influencia de los muros en esta playa, se compararon el perfil nº3 con el perfil nº4, ya que se encuentran emplazado en sectores de la playa con diferentes configuraciones del muro costero y donde se hace evidente que la dinámica de ambos perfiles es distinta, siendo influenciados de una forma notoriamente desigual. En la Figura 9-2 los perfiles seleccionados se marcan de color magenta.

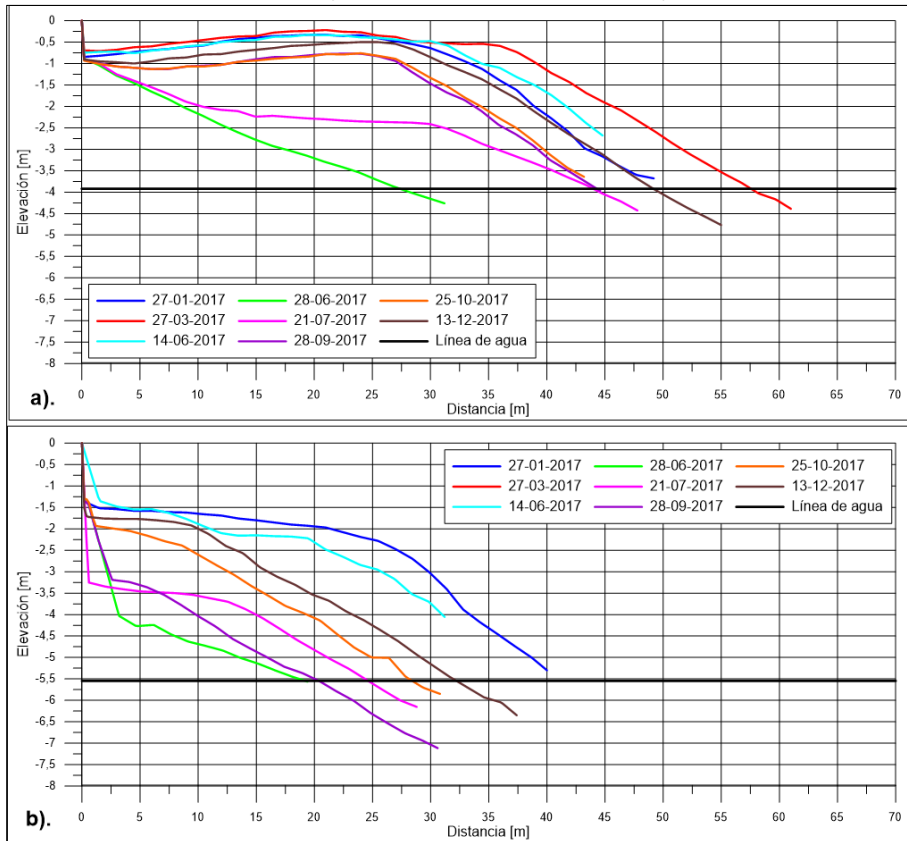
En el caso del perfil nº3, el muro donde inicia este perfil se encuentra más atrás que el muro de arranque del perfil nº4. Además, el perfil nº3 presenta una mayor envergadura por lo que posee una estructura con una zona de berma amplia y en el caso del perfil nº4 su estructura es angosta, lo que en caso de un evento extremo se ocasiona una erosión mayor llegando al muro costero y generando un socavamiento en la base de la estructura. En la Figura 9-3 se presenta una comparación de la forma de los perfiles seleccionados de esta playa.

Figura 9-2: Perfiles seleccionados para su comparación, playa Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 9-3: Comparación de la forma de los perfiles transversales, playa Portales.  
a) Perfil nº3 de playa Portales, b) Perfil nº4 de playa Portales.



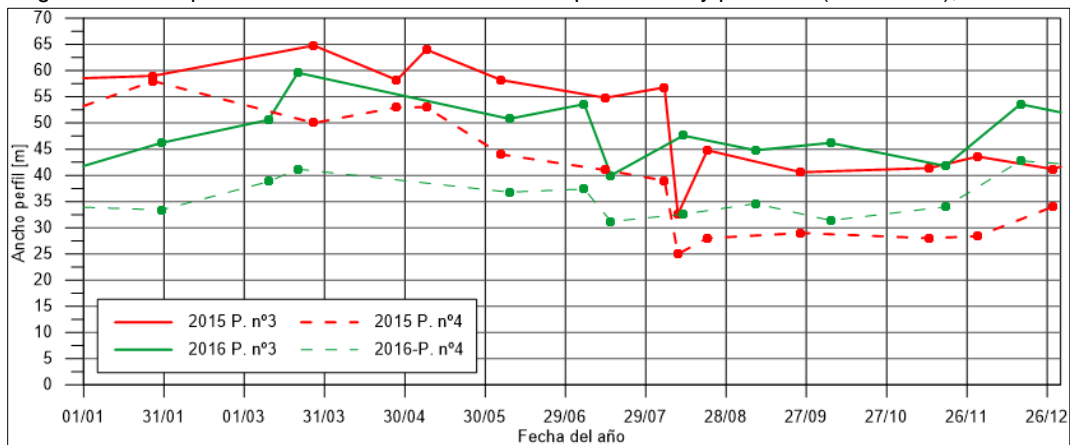
Fuente: Elaboración Propia.

Aunque ambos perfiles han presentado un decaimiento en los anchos característicos posterior al evento del 8 de agosto del año 2015, el perfil n°4 evidencia un mayor retroceso en comparación al perfil n°3 y esto se puede confirmar con la Figura 9-4. En esta figura se puede observar que los anchos alcanzados por el perfil n°3 son mayores que los del perfil n°4, para el 2015 al comparar anchos de las mismas fechas se obtiene diferencias de entre 1 y 17,80 [m], mientras que para el 2016 las diferencias presentadas varían entre 7,20 y 18,40 [m]. Además, de esto se puede inferir que al tener un ancho menor el perfil n°4 presenta mayores daños frente a un mismo evento extremo.

Como se analizó en el capítulo 8.6.2, no existe un pivoteo de la playa entre los perfiles n°3 y n°4 a una escala anual, pero al analizar su comportamiento mensualmente y tras cada evento si se observa un pivoteo de la playa.

También la playa Portales ha presentado en los últimos años un característico ciclo de erosión y de acreción, pero han sido modificados producto de una mayor intensidad de las condiciones extremas durante los últimos años (2015, 2016 y 2017) y el desplazamiento de la playa por efecto de la construcción de muros para paseos costeros.

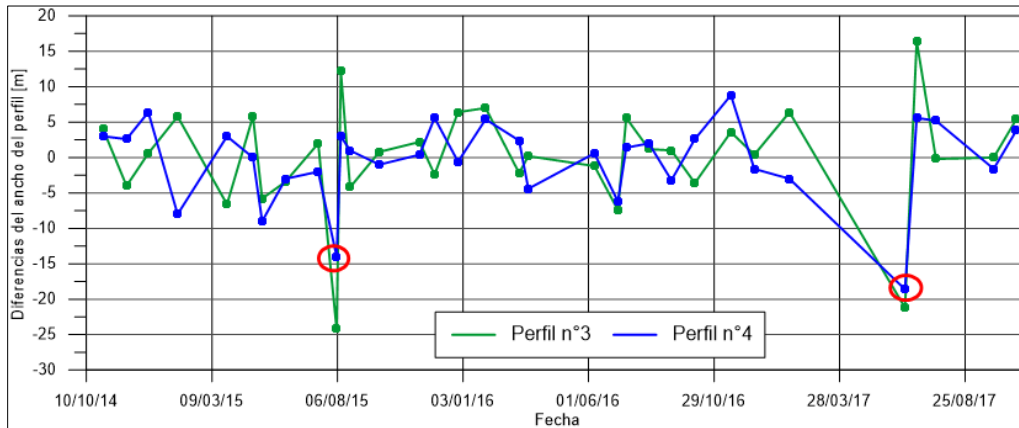
Figura 9-4: Comparación de anchos medidos de los perfiles n°3 y perfil n°4 (2015-2016), Portales.



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó un análisis de toda la estadística y se identificaron los diferentes cambios que sufrieron los anchos de los perfiles n°3 y n°4 de esta playa. Esto permitió identificar los casos donde el oleaje interactuó directamente con el muro costero del perfil n°4, donde el muro se encuentra ubicado cercano a la zona de intermareal. En la Figura 9-5 se destacan con un círculo rojo los casos en que el oleaje interactuó con el muro costero, confirmando que cuando se presenta esta interacción la erosión del ancho transversal del perfil n°4 aumenta considerablemente.

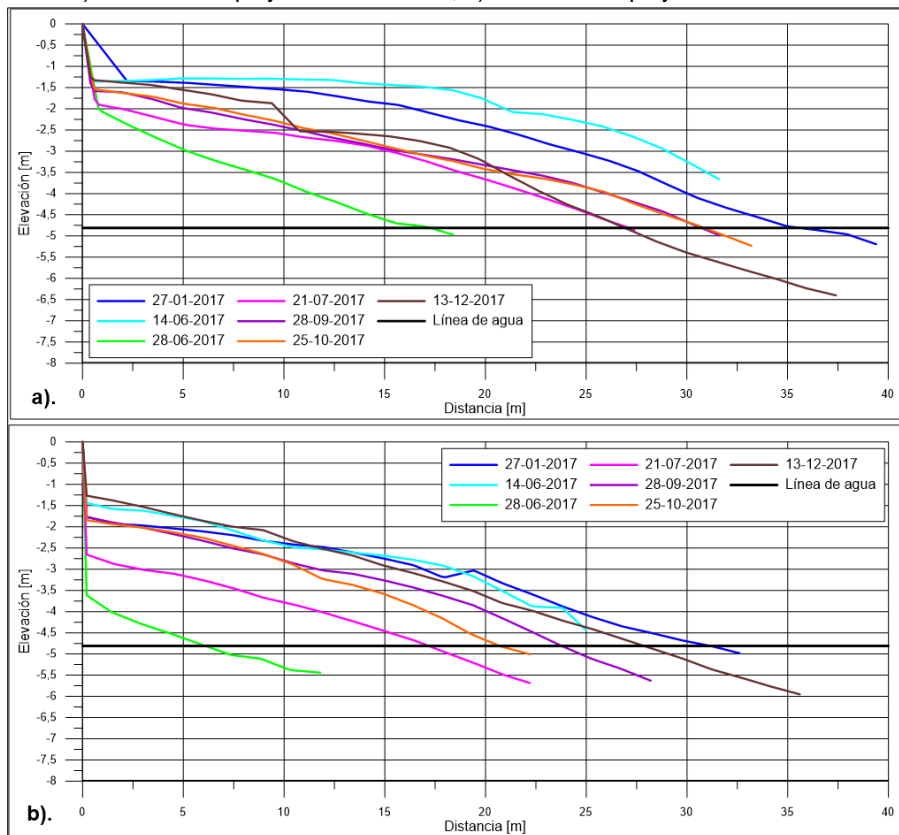
Figura 9-5: Comparación de las diferencias entre los anchos medidos en cada medición, Perfiles n°3 y n°4 de Portales.



Se realizó una comparación entre los perfiles n°2 y n°5 de Caleta Abarca, ya que en el perfil n°2 el muro se encuentra más atrás que en el caso del perfil n°5. Además, el perfil n°2 presenta una estructura con una zona de berma amplia y frente de playa, en el caso del perfil n°5 estas zonas no son tan visibles y posee una menor distancia entre el punto de inicio y la zona de intermareal.

A continuación, en la Figura 9-7 se presentan gráficos comparativos de ambos perfiles, donde se puede confirmar lo que anteriormente se ha señalado respecto a la forma que presenta cada perfil.

Figura 9-7: Comparación de la forma del perfil transversal, Caleta Abarca.  
a) Perfil n°2 de playa Caleta Abarca, b) Perfil n°5 de playa Caleta Abarca

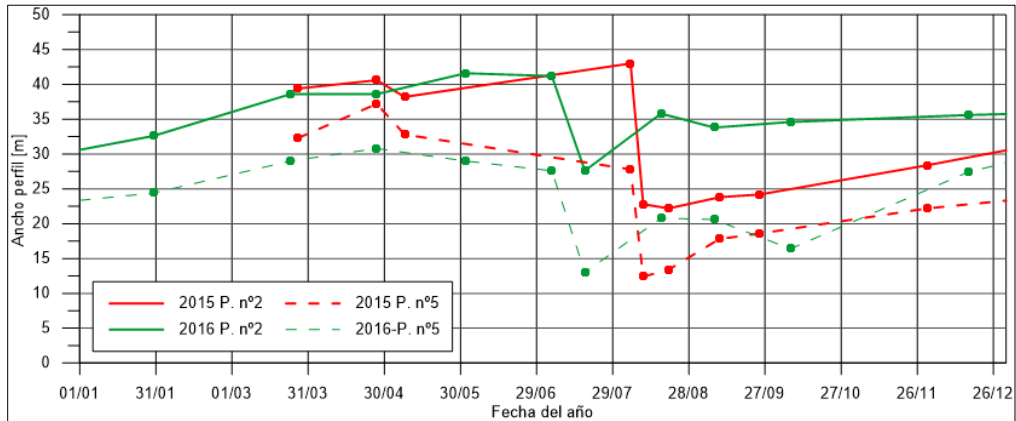


Fuente: Elaboración Propia.

Aunque ambos perfiles han presentado un decaimiento en los anchos característicos posterior al evento del 8 de agosto del año 2015, el perfil n°5 evidencia un mayor retroceso en comparación al perfil n°2. Esto se puede corroborar en la Figura 9-8.

En esta figura se observa que los anchos alcanzados por el perfil n°2 son mayores que los del perfil n°5. Para el año 2015, al comparar anchos de las mismas fechas se obtiene diferencias de entre 3,4 y 15,2 [m], mientras que para el 2016 las diferencias presentadas varían entre 6,2 y 18,2 [m]. Además, de esto se puede inferir que al tener un ancho menor el perfil n°5 presenta mayores daños frente a un mismo evento extremo.

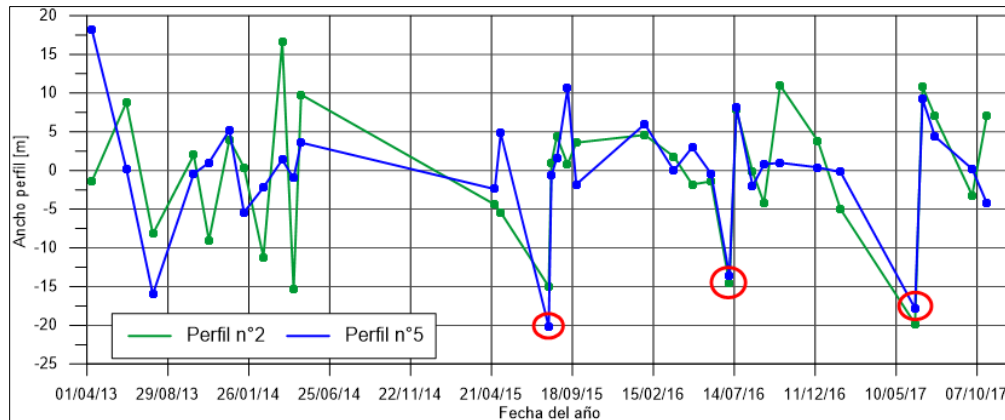
Figura 9-8: Comparación de anchos medidos de los perfil n°2 y n°5 (2015-2016), Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

Se realizó un análisis de toda la estadística y se identificaron los diferentes cambios que sufrieron los anchos de los perfiles n°2 y n°5 de esta playa. Esto permitió identificar casos donde posterior al retroceso del ancho transversal provocado por la acción del oleaje, se confirma la interacción directa del oleaje con el muro costero del perfil n°5. En la Figura 9-9 se destacan con un círculo rojo los casos en que el oleaje interactuó con el muro costero, confirmando que cuando se presenta esta interacción la erosión del ancho transversal del perfil n°5 aumenta considerablemente.

Figura 9-9: Comparación de las diferencias entre los anchos medidos en cada medición, perfiles n°2 y n°5 en Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

## 9.6 INFLUENCIA DE LA MAREA EN LA EROSIÓN

Al caracterizar los eventos con el mayor daño erosivo que corresponden a los eventos extremos de oleaje del 8 de agosto de 2015 y del 25 de junio de 2017, se evidencia que la marea juega un papel importante en el nivel erosivo alcanzado en una playa, ya que al aumentar el nivel del mar aumenta el alcance que tendrá la ola, afectando con su acción una mayor zona de la playa. Sin embargo, se debe considerar que el desarrollo de una marejada tiene duración mayor a un día y la marea cerca de 6 horas, por lo que en realidad el aporte de la marea en el proceso erosivo debiese ser despreciable.

## **10 RECOMENDACIONES**

- Es prioritario para el caso del estudio de la morfodinámica de las playas, que se establezcan metodologías que permitan un monitoreo sistemático y continuo. Además, de que se pueda incorporar información histórica que permita ampliar el periodo de información sobre las playas.
- También, se deben considerar mediciones de oleaje que permitan un mejor análisis del principal factor que afecta la morfología de las playas. Estos estudios se podrían apoyar con mediciones de batimetrías que entreguen un escenario más completo del borde costero.
- Para conseguir un mayor entendimiento de la morfodinámica de las playas del litoral, se debe continuar con el monitoreo de las playas para conocer su evolución a través del tiempo y cómo son afectadas por los numerosos eventos extremos que se presentan actualmente. Además, se debe apoyar con otros métodos el monitoreo de las playas para obtener mayor información sobre su dinámica.
- En relación a lo mencionado, es necesario que las mediciones del perfil transversal de la playa se realicen lo más cercano posible al evento extremo, ya que así se podrá identificar claramente los daños erosivos que provocó dicha tormenta. Por ello, se deben estudiar las características de cada evento extremo que se ha presentado para pronosticar la respuesta de la playa y los daños que se producirán. De diferentes fuentes se ha propuesto diseñar un sistema que permita en base a información recopilada a través de los años obtener una posible respuesta de la playa frente a diferentes condiciones de oleaje (eventos extremos) y desarrollar medidas de mitigación de los posibles daños.
- Al construir muros costeros se debe considerar factores como la cercanía, forma, tipo de material y diseño, para no afectar la dinámica de la playa y su entorno. Por ello, es fundamental investigar con más detalle la posible influencia de los muros en las playas de la bahía de Valparaíso y si se pueden establecer medidas para evitar estos efectos, ya que en esta memoria no se aborda en detalle este tema.
- El estudio de la dinámica de las playas de Valparaíso y Viña del Mar debe ser un tema importante, ya que esto permitirá una mayor gestión de estos espacios costeros y favorecerá de diferentes formas el turismo durante la época estival. Se hace necesario un plan de contingencia para palear los posibles daños que generan los eventos extremos sobre las playas, ya que se podría disminuir el gasto en relleno de las playas turísticas en época de verano.
- Se deben evaluar diferentes soluciones para la mantención de las playas en el tiempo y que no desaparezcan, ya que al perder una o todas las funciones encomendadas en una playa se recomienda actuar y gestionar soluciones viables para recuperar las zonas del litoral degradadas, optimizando los usos y los recursos según su funcionamiento en el territorio, garantizando así su uso público.

## **11 CONCLUSIONES**

En base al objetivo que persigue este trabajo, se puede decir que es de suma importancia estudiar la dinámica de los espacios costero y para los fines de este estudio las playas, ya que son un elemento importante a la hora de minimizar los daños generados por eventos extremos, por su elevado factor de disipación de la energía del oleaje que azota la costa.

Las playas analizadas presentan diferentes respuesta dependiendo de las condiciones que muestran los eventos extremos que llegan a las costas de la bahía, ya que dependiendo de la dirección media del evento se generaran diferentes daños sobre estas playas al estar ubicadas en la zona sur dentro de la bahía. En el caso de Placeres y Portales, estas playas se encuentran más al sur y están más protegidas que las otras playas de la bahía frente a eventos provenientes del tercer cuadrante. Por su parte playa Caleta Abarca posee mayor protección natural al contar con roqueríos en el sector norte y sur de la playa.

La combinación de las mediciones de perfiles transversales con las fotografías aéreas, permitió contar con un periodo mayor de estadísticas. Las mediciones presentan información desde el 2013 y con los datos de las fotografías se amplió el periodo hasta el 2003 permitiendo extender en 10 años el periodo de análisis de las playas. Esto favoreció un análisis más detallado de la evolución morfológica de estos espacios litorales.

El análisis de máximos y mínimos anchos anuales permite rescatar información relevante respecto a la posición de la línea de costa, ya que se evidencia que tras el evento del 8 de agosto del 2015 tanto los anchos máximos como mínimos de las playas bajo estudio han decaído considerablemente.

Con el análisis morfodinámico se pudo constatar que las condiciones de oleaje con el mayor daño erosivo se presentaron el 8 de agosto de 2015 y se identificó como un evento excepcional, ya que presenta periodos de retorno de 78 años para el caso de las playas de Placeres y Portales, mientras que para Caleta Abarca su periodo de retorno es de 92 años. Esto confirma que las características de este evento generaron un daño erosivo considerable en las playas y en este estado, el evento del 25 de junio de 2017 generó una mayor erosión y un mayor daño sobre las infraestructuras costeras. Evidenciándose que el proceso de recuperación de las playas se ha visto interrumpido por la presencia de eventos extremos con gran intensidad en los últimos años. También, se identifica un posible aumento en el daño generado por este evento en los sectores donde existe un muro y que se puede constatar gracias a las mediciones de perfiles transversales realizadas antes y después de este evento, además de comparar perfiles dentro de la misma playa con diferentes configuraciones y anchos.

El procesamiento de la serie de oleaje permite señalar que en los últimos 30 años sólo existen dos eventos con las características similares a las presentadas por el evento de agosto de 2015 y que pudieron generar un daño erosivo severo en las playas estudiadas. El primer evento comparable corresponde al ocurrido el 11 de julio de 1987 y el segundo es el evento del 2 de julio del 2005, pero se debe aclarar que se pudieron identificar solamente en la serie de oleaje de playa Caleta Abarca. Para el caso de las playas Placeres y Portales,

se observa que las condiciones de oleaje presentan intensidades menores que en playa Caleta Abarca y por ello no se identificaron eventos comparables al evento del 2015.

De la correlación de los procesos de erosión de las playas con las condiciones de oleaje estimadas, se obtuvo que los eventos erosivos presentan alturas mayores a 0,80 [m] y una duración menor a 120 horas. Además, las condiciones de oleaje con alturas superiores a 3,2 [m] y periodos sobre los 10 [s] generan erosiones del perfil de playa superiores a los 10 [m].

Se pudo identificar casos de estudio relacionados a los posibles efectos de los muros en las playas analizadas, de esto se obtuvo que en algunos casos no se evidencia efectos y otros casos donde una parte de la playa es afectada, ya que el muro se encuentra cercano a la zona de interacción con el oleaje. Con el análisis de los casos donde el muro interactúa directamente con el oleaje frente a condiciones extremas de oleaje, se confirmó que la erosión en estos perfiles aumenta considerablemente. En específico, el perfil n°4 de Portales presentó aumentos de 5 [m] en los casos donde el muro interactuó con el oleaje y para el caso del perfil n°5 de Caleta Abarca se observó un aumento de aproximadamente 10 [m].

El análisis de las mediciones en terreno y la correlación de la erosión con la ocurrencia de eventos extremos de oleaje hacen notar que la influencia de los muros en la desaparición de las playas es un factor que debe asociarse a condiciones extremas de oleaje, ya que el muro debe interactuar directamente con el oleaje para provocar el socavamiento del material sedimentario.

También se debe señalar que es necesario un análisis más profundo de los efectos de los muros sobre las playas, ya que se deben estudiar numerosos factores relacionados al diseño de los muros y su emplazamiento dentro de la playa. Estos aspectos no fueron analizados en detalle dentro del desarrollo de este proyecto.

## **12 GLOSARIO**

**Playa:** Depósito de material sedimentario no consolidado que se acumula a lo largo del borde costero por la acción de diferentes agentes hidrodinámicos (Olivas, 2007).

**Perfil de playa:** “Se define como la variación de la profundidad de agua con la línea de costa en dirección normal a la misma” (Universidad de Cantabria, 2000, (pp. A1.2)).

**La berma:** en esta zona se encuentran grandes acumulaciones de arena, se caracteriza por presentar un cambio brusco de pendiente hacia el frente de playa (borde de la berma) (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**El escarpe de playa:** es la zona de mayor pendiente que aparece en la playa seca y se forma por la erosión de la berma en época de temporales (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**Frente de playa:** es la sección que se caracteriza por quedar expuesta a la acción del oleaje constantemente (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**El escalón:** es la pendiente que aparece en las playas reflectantes; en el límite inferior del frente de playa, conteniendo los sedimentos más gruesos del perfil (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**La terraza de bajamar:** es la zona comprendida entre la parte inferior del frente de playa y el límite máximo de baja mar (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**La barra longitudinal:** zona en que se acumula el sedimento en forma paralela a la línea de la costa (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**El seno de la barra:** es una depresión paralela a la línea de costa, que aparece antes de la formación de una barra longitudinal (Universidad de Cantabria G.I.O.C., 2000).

**Perfil de acreción:** Perfil que se produce durante la acción de un oleaje de baja energía o reconstructor que favorece la acumulación de material sedimentario, recuperando en un porcentaje considerable el material perdido durante el proceso de erosión (Sánchez Arcilla & Jiménez, 1994).

**Perfil de erosión:** Perfil que se produce durante la acción de tormentas, en las que el oleaje que actúa sobre la playa es de gran contenido energético y, genera durante el proceso de rotura corrientes de retorno de gran intensidad. Con estas condiciones se produce una erosión del perfil y el sedimento es transportado hacia mar adentro (Sánchez Arcilla & Jiménez, 1994).

**Perfil de equilibrio:** Es aquel que disipa la mayor parte de la energía de un oleaje incidente constante en el tiempo que actúa sobre la playa, presentando menor variación y mayor permanencia en el tiempo (Sánchez Arcilla & Jiménez, 1994).

**Erosión pasiva:** Este tipo de erosión se produce cuando se construye una estructura a lo largo de una línea de costa, lo que genera una erosión neta a largo plazo. La costa migrará

finalmente hacia el mar más allá de la estructura. El efecto será la pérdida gradual de la playa frente al muro o revestimiento a medida que el agua se profundiza y el perfil de la costa emigra hacia tierra (Pilkey O., 1988).

**Erosión activa:** De acuerdo a diferentes autores, la erosión activa se define como la capacidad de un muro o revestimiento para provocar o acelerar la erosión de una playa.

**Estabilización suave:** se refiere principalmente a la reposición de la playa, es decir, reemplazando la playa que ha desaparecido con una nueva (Pilkey O., 1988).

**Estabilización dura:** se refiere al emplazamiento de cualquier estructura "permanente" y dura con una ubicación fija, construida para proteger una costa de la erosión o para impedir el movimiento de arena a lo largo de una playa. Las estructuras duras, incluyen las construcciones perpendicularmente a la línea de costa, las construidas en la playa y paralelas a la costa. Algunos ejemplos de construcción de estabilización dura son los malecones, los espigones, los rompeolas y los diques (Pilkey O., 1988).

## **13 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguilera, M., Broitman, B., & Thiel, M. (2016). Artificial breakwaters as garbage bins: Structural complexity enhances anthropogenic litter accumulation in marine intertidal habitats. *Elsevier*, 737-747.
- Álvarez, M., & Gallardo, A. (2017). *Calibración del Modelo Wavewatch III*. Valparaíso.
- Anfuso, G., & Rangel-Buitrago, N. (2011). An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish litoral. *Journal of Coastal Research*, 1891-1895.
- Astudillo, D. (18 de 3 de 2007). *El Mercurio de Valparaíso*.
- Astudillo, D. (5 de 12 de 2015). *La Tercera*. Obtenido de <http://www.latercera.com/noticia/nacional/2015/12/680-658834-9-v-region-tres-playas--no-estaran-operativas-durante-el-verano.shtml>
- Bascom, W. (1960). Las Playas. En M. Robert, *Selecciones de SCIENTIFIC AMERICAN Oceanografía* (C. M. González, Trad., págs. 140-151). Madrid: Blume.
- Campos, R. (2016). *Análisis de marejadas Históricasy recientes en las costas de Chile. Memoria de título, Universidad de Valparaíso. Valparaíso*.
- D.R.Basco. (2006). Seawall Impactson adjacentt beaches: Separating Fact from Fiction . *Journal of Coastal Research*, 741-744.
- De la Peña, J. M. (2007). *Guía técnica de estudios litorales, Manual de costas*. Madrid.
- De la Peña, J. M. (2008). Diques exentos: inventarios y comportamientos en las costas españolas. *Ingeniería Civil*, 65-76.
- De la Peña, J. M. (2010). Aproximaciones al conocimiento de muros en playas. *Cimbra*, 14-22.
- Dirección de Obras Portuarias. (2014). *Glosario de la Infraestructura Costera y Portuaria*.
- Dolan, R., & Davis, R. (1992). An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. *Jornal of Coastal Research*, 840-853.
- El mercurio de Valparaíso*. (26 de 6 de 2007). Obtenido de <https://www.Elmercuriodevalparaíso.cl/historia-caleta-abarca/>
- Emery, W. (1961). A simple method of measuring beach profiles. *Limnology and Oceanography*, 90-93.
- Frías, G. (2016). *Implementación de una metodología de reconstrucción de perfiles de playa a partir de mediciones indirectas: una aplicación a playa El Encanto, Reñaca, V Región, Chile. Memoria de título, Universidad de Valparaíso. Valparaíso*.
- Gallardo A. & Álvarez M. (2017). *Calibración del Modelo Wavewatch III*. Valparaíso.

- Gálvez, B. (2016). *Caracterización de respuesta de playa ante eventos extremos de oleaje: Playa Reñaca-Caleta Abarca. Chile. Memoria de título, Universidad de Valparaíso. Valparaíso.*
- Griggs, G., & Tait, J. (1988). The Effects of Coastal Protection Structures on Beaches Along Northern Monterey Bay, California. *Journal of Coastal Research*, 93-111.
- Instituto de Geografía de la Universidad Católica de Chile. (s.f.). Santiago.
- Jo Hall, M., & Orrin H., P. (1991). Effects of Hard Stalilization on Dry Beach Width for New Jersey. *Journal of Coastal Research*, 771-785.
- Komar, P. (1976). Beach processes and sedimentation, Prentice Hall. *Englewood Cliffs.*
- Kraus, N. (1988). The Effects of Seawalls on the Beach: An Extended Literature Review. *Journal of Coastal Research*, 1-28.
- Kraus, N., & McDougal, W. (1996). The Effects of Seawalls in the Beach: Part I, An Updated Literature Review. *Journal of Coastal Research*, 691-701.
- Lastarria, C. (28 de julio de 2009). Balneario El Recreo. *La Estrella.*
- Liu, Z., & Frigaard, P. (2001). *Generation and analysis of random waves. Laboratoriet for Hydraulik og Havnebygning. Instituttet for Vand, Jord og Miljøteknik, Aalborg Universitet.*
- Marcomini, S., & López, R. (2006). Geomorfología costera y explotación de arena de playa en la provincia de buenos aires y sus consecuencias ambientales. *Revista Brasileira de Geomorfología*, 61-71.
- Marcomini, S., & López, R. (2006). Influencia de la urbanización en la dinámica costera, Villa Gesell, provincia de Buenos Aires, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología.*, 79-96.
- Marcomini, S., & López, R. (2007). *Erosión y manejo costero de Villa Gesell.* Obtenido de <http://digital.bl.fcen.uba.ar/>
- Molina, M. (2015). *Efecto marejadas 6 y 8 agosto del 2015, en 3 playas bahía Valparaíso.*
- Monsalve, E. (2010). *Desarrollo e implementación de un modelo de transferencia espectral de oleaje en Bahía de Valparaíso, Chile. Memoria de título, Universidad de Valparaíso.*
- Pilkey, O., & Wright III, H. (1988). Seawalls Versus Beaches. *Journal of Coastal Research*, 41-64.
- Rivanera, A. (15 de diciembre de 2015). *La Tercera.* Obtenido de [http://www.latercera.com/paseo-wheelwright\\_y-playa-placeres/](http://www.latercera.com/paseo-wheelwright_y-playa-placeres/)
- Sánchez, A., & Jiménez, A. (1994). *Ingeniería de playas: Conceptos de Morfología costera.* Barcelona.

- Sánchez, A., & Jiménez, J. (1994). *Ingeniería de playas: Conceptos de morfología costera*. Barcelona.
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile . (1993). *Glosario de Marea y Corrientes, 2° Edición. Publicación 3013.* .
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (2016). *Tablas de marea de la costa de Chile. Publicación 3009.*
- Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. (1999). *Pub. 3202- Instrucciones Oceanográficas N°2: Método Oficial para el cálculo de los valores no armónicos de la marea., 2° Edición. Publicación 3202.*
- Silva, R., Villatoro, M., Ramos, F., Pedroza , D., & Ortiz , M. (2014). *Caracterización de la zona costera y planteamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable.*
- Universidad de Cantabria. (2000). *Documento de referencia, Volumen II. Procesos litorales.*
- Universidad de Cantabria. (2000). *Volumen II, Procesos Litorales del Documento de Referencia.* Santander.
- Universidad de Cantabria G.I.O.C. (2000). *Documento tematico: Regeneracion de playas.*
- Villaverde, J. M. (1998). *Hidrodinamica del perfil de playa.*
- Weggel, R. (1988). Seawalls: The Need for Research, Dimensional Considerations and a Suggested Classification. *Journal of Coastal Research*, 29-39.
- William, M., Kraus, N., & Ajiwibowo, H. (1996). The Effects of Seawalls on the Beach: Part II, Numerical Modeling of SUPERTANK Seawall Tests. *Journal of Coastal Research*, 702-713.
- Winckler, P., Contreras-López, M., Beyá, J., & Molina, M. (2015). *El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo.*
- Winckler, P., Molina, M., Contreras, M., & Beyá, J. (2017). El Temporal del 8 de Agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo. *Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica (SOCHID), XXII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.*

## 14 ANEXOS

### 14.1 TABLAS DE INCIDENCIA: ANÁLISIS DE CONDICIONES DE OLEAJE EN PLAYA CALETA ABARCA

Tabla 14-1: Tabla de Incidencia Hs v/s Tp, playa Caleta Abarca.

Hs[m]	Tp[s]														Total	A (%)	C (%)
	0,0 - 2,0	2,0 - 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 12,0	12,0 - 14,0	14,0 - 16,0	16,0 - 18,0	18,0 - 20,0	20,0 - 22,0	22,0 - 24,0	24,0 - 26,0	26,0 - 28,0			
0,0 - 0,4		38	569	2186	948	4896	17035	5668	5289	1802	300	28	49	3	38811	30,91	69,09
0,4 - 0,8		160	403	2751	1677	3489	18867	18936	14983	6359	1123	89	114	10	68961	85,83	14,17
0,8 - 1,2		8	708	1134	925	1106	1571	1823	3330	1960	286	30	24		12905	96,11	3,89
1,2 - 1,6			344	608	384	472	286	125	337	161	26	4	3		2750	98	1,70
1,6 - 2,0			38	558	182	175	79	21	17	1					1071	99	0,85
2,0 - 2,4				280	149	87	29	6							551	100	0,41
2,4 - 2,8				79	142	55	19	2	3						300	100	0,17
2,8 - 3,2				6	85	38	5	3	1						138	100	0,06
3,2 - 3,6					21	20	3								44	100	0,03
3,6 - 4,0					3	15	13								31	100	0,00
>4,0						2									2	100	0,00
<b>Total</b>	0	206	2062	7602	4516	10355	37907	26584	23960	10283	1735	151	190	13	125564		
<b>A (%)</b>	0,00	0,16	1,81	7,86	11,46	19,70	49,89	71,06	90,15	98,34	99,72	99,84	100	100			
<b>C (%)</b>	100	99,84	98,19	92,14	88,54	80,30	50,11	28,94	9,85	1,66	0,28	0,16	0,01	0,00			

Fuente: Elaboración propia.

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE VALPARAÍSO.

Tabla 14-2: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playa Caleta Abarca.

Dirección	Tp[s]													Total	A(%)	C(%)
	2,0 - 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 12,0	12,0 - 14,0	14,0 - 16,0	16,0 - 18,0	18,0 - 20,0	20,0 - 22,0	22,0 - 24,0	24,0 - 26,0	26,0 - 28,0			
N														0	0,00	100
NNE														0	0,00	100
NE														0	0,00	100
ENE														0	0,00	100
E														0	0,00	100
ESE														0	0,00	100
SE														0	0,00	100
SSE														0	0,00	100
S														0	0,00	100
SSW														0	0,00	100
SW														0	0,00	100
WSW														0	0,00	100
W	29	605	1856	321	2279	9847	3219	2203	921	132	17	34	3	21466	17,10	82,90
WNW	45	645	4812	3868	7741	16236	5902	6943	1634	227	14	13		48080	55,39	44,61
NW	3	302	865	317	311	11728	17433	14775	7718	1376	120	143	10	55101	99	0,73
NNW	129	510	69	10	24	96	30	39	10					917	100	0,00
<b>Total</b>	206	2062	7602	4516	10355	37907	26584	23960	10283	1735	151	190	13	125564		
<b>A(%)</b>	0,16	1,81	7,86	11,46	19,70	49,89	71,06	90,15	98,34	100	100	100	100			
<b>C(%)</b>	99,84	98,19	92,14	88,54	80,30	50,11	28,94	9,85	1,66	0,28	0,16	0,01	0,00			

Fuente: Elaboración propia.

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE VALPARAÍSO.

Tabla 14-3: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playa Caleta Abarca.

Dirección	Hs [m]											Total	A(%)	C(%)
	0,0 - 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 1,2	1,2 - 1,6	1,6 - 2,0	2,0 - 2,4	2,4 - 2,8	2,8- 3,2	3,2 - 3,6	3,6 - 4,0	>4,0			
<b>N</b>												0	0,00	100
<b>NNE</b>												0	0,00	100
<b>NE</b>												0	0,00	100
<b>ENE</b>												0	0,00	100
<b>E</b>												0	0,00	100
<b>ESE</b>												0	0,00	100
<b>SE</b>												0	0,00	100
<b>SSE</b>												0	0,00	100
<b>S</b>												0	0,00	100
<b>SSW</b>												0	0,00	100
<b>SW</b>												0	0,00	100
<b>WSW</b>												0	0,00	100
<b>W</b>	16272	5180	14									21466	17,10	82,90
<b>WNW</b>	16534	22694	5700	1941	698	301	144	42	10	16		48080	55,39	44,61
<b>NW</b>	5918	40713	6836	745	354	236	152	96	34	15	2	55101	99	0,73
<b>NNW</b>	87	374	355	64	19	14	4					917	100	0,00
<b>Total</b>	38811	68961	12905	2750	1071	551	300	138	44	31	2	125564		
<b>A(%)</b>	30,91	85,83	96,11	98,30	99,15	99,59	100	100	100	100	100			
<b>C(%)</b>	69,09	14,17	3,89	1,70	0,85	0,41	0,17	0,06	0,03	0,00	0,00			

Fuente: Elaboración propia.

## 14.2 TABLAS DE INCIDENCIA: ANÁLISIS DE CONDICIONES DE OLEAJE EN PLAYAS PLACERES Y PORTALES.

Tabla 14-4: Tabla de Incidencia Hs v/s Tp, playas Placeres y Portales.

Hs[m]	Tp[s]													Total	A(%)	C(%)
	2,0 - 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 12,0	12,0 - 14,0	14,0 - 16,0	16,0 - 18,0	18,0 - 20,0	20,0 - 22,0	22,0 - 24,0	24,0 - 26,0	26,0 - 28,0			
0,0 - 0,4	150	472	967	1074	7879	37783	12914	11146	5527	1318	89	77	6	79402	63,24	36,76
0,4 - 0,8	399	1052	1501	746	726	7378	12056	10148	4554	677	47	54	3	39341	94,58	5,42
0,8 - 1,2		1141	805	401	107	319	329	705	411	42	5	3		4268	97,98	2,02
1,2 - 1,6		336	664	161	69	31	13	4	2					1280	99	1,00
1,6 - 2,0		1	498	117	33	4		1						654	100	0,48
2,0 - 2,4			198	125	20	3								346	100	0,21
2,4 - 2,8			28	117	14	1								160	100	0,08
2,8 - 3,2				59	10									69	100	0,02
3,2 - 3,6				14	10									24	100	0,00
3,6 - 4,0				1	3									4	100	0,00
>4,0					2									2	100	0,00
<b>Total</b>	549	3002	4661	2815	8873	45519	25312	22004	10494	2037	141	134	9	125550		
<b>A(%)</b>	0,44	2,83	6,54	8,78	15,85	52,11	72,27	89,79	98,15	99,77	99,89	99,99	100			
<b>C(%)</b>	100	97,17	93,46	91,22	84,15	47,89	27,73	10,21	1,85	0,23	0,11	0,01	0,00			

Fuente: Elaboración propia.

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE VALPARAÍSO.

Tabla 14-5: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playas Placeres y Portales.

Dirección	Tp [s]													Total	A(%)	C(%)
	2,0 - 4,0	4,0 - 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 12,0	12,0 - 14,0	14,0 - 16,0	16,0 - 18,0	18,0 - 20,0	20,0 - 22,0	22,0 - 24,0	24,0 - 26,0	26,0 - 28,0			
N														0	0,00	100
NNE														0	0,00	100
NE														0	0,00	100
ENE														0	0,00	100
E														0	0,00	100
ESE														0	0,00	100
SE														0	0,00	100
SSE														0	0,00	100
S														0	0,00	100
SSW														0	0,00	100
SW														0	0,00	100
WSW														0	0,00	100
W	1													1	0,00	100
WNW	2	210	317	609	2319	5886	394	536	270	109	8	6		10666	8,50	91,50
NW	487	2569	4174	2091	6521	39597	24904	21450	10215	1927	133	128	9	114205	99,46	0,54
NNW	59	223	170	115	33	36	14	18	9	1				678	100	0,00
<b>Total</b>	549	3002	4661	2815	8873	45519	25312	22004	10494	2037	141	134	9	125550		
<b>A(%)</b>	0,44	2,83	6,54	8,78	15,85	52,11	72,27	89,79	98,15	99,77	100	100	100			
<b>C(%)</b>	100	97,17	93,46	91,22	84,15	47,89	27,73	10,21	1,85	0,23	0,11	0,01	0,00			

Fuente: Elaboración propia.

EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE LAS PLAYAS PLACERES, PORTALES Y CALETA ABARCA, BAHÍA DE VALPARAÍSO.

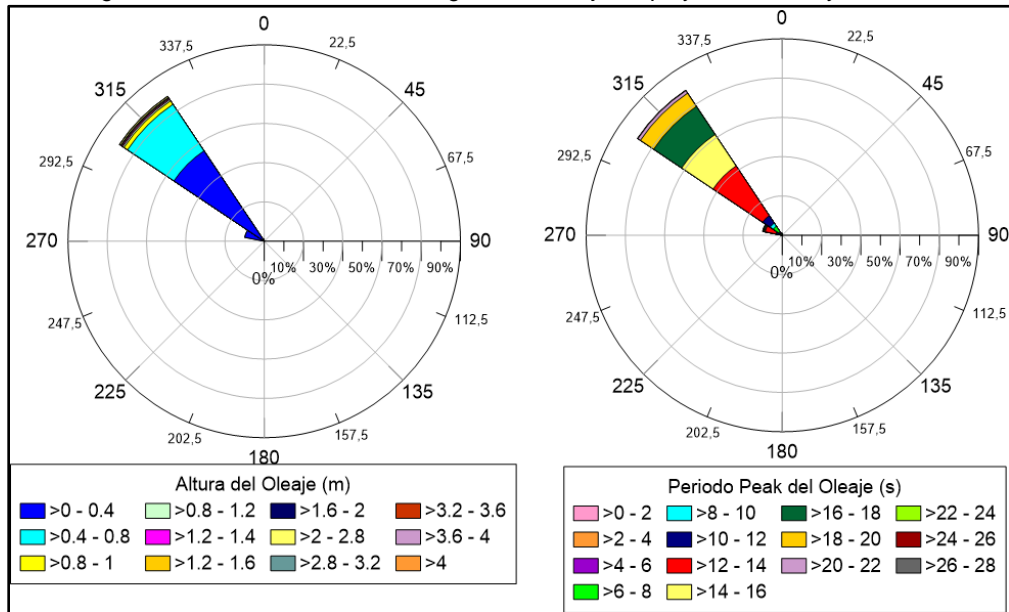
Tabla 14-6: Tabla de Incidencia Tp v/s Dirección, playas Placeres y Portales.

Dirección	Hs [m]											Total	A(%)	C(%)	
	0,0 - 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 1,2	1,2 - 1,6	1,6 - 2,0	2,0 - 2,4	2,4 - 2,8	2,8- 3,2	3,2 - 3,6	3,6 - 4,0	>4,0				
<b>N</b>													0	0,00	100
<b>NNE</b>													0	0,00	100
<b>NE</b>													0	0,00	100
<b>ENE</b>													0	0,00	100
<b>E</b>													0	0,00	100
<b>ESE</b>													0	0,00	100
<b>SE</b>													0	0,00	100
<b>SSE</b>													0	0,00	100
<b>S</b>													0	0,00	100
<b>SSW</b>													0	0,00	100
<b>SW</b>													0	0,00	100
<b>WSW</b>													0	0,00	100
<b>W</b>	1												1	0,00	100
<b>WNW</b>	10648	18											10666	8,50	91,50
<b>NW</b>	68654	39155	4140	1234	582	282	114	36	8				114205	99	0,54
<b>NNW</b>	99	168	128	46	72	64	46	33	16	4	2		678	100	0,00
<b>Total</b>	79402	39341	4268	1280	654	346	160	69	24	4	2		125550		
<b>A(%)</b>	63,24	94,58	97,98	99,00	99,52	99,79	100	100	100	100	100				
<b>C(%)</b>	36,76	5,42	2,02	1,00	0,48	0,21	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00				

Fuente: Elaboración propia.

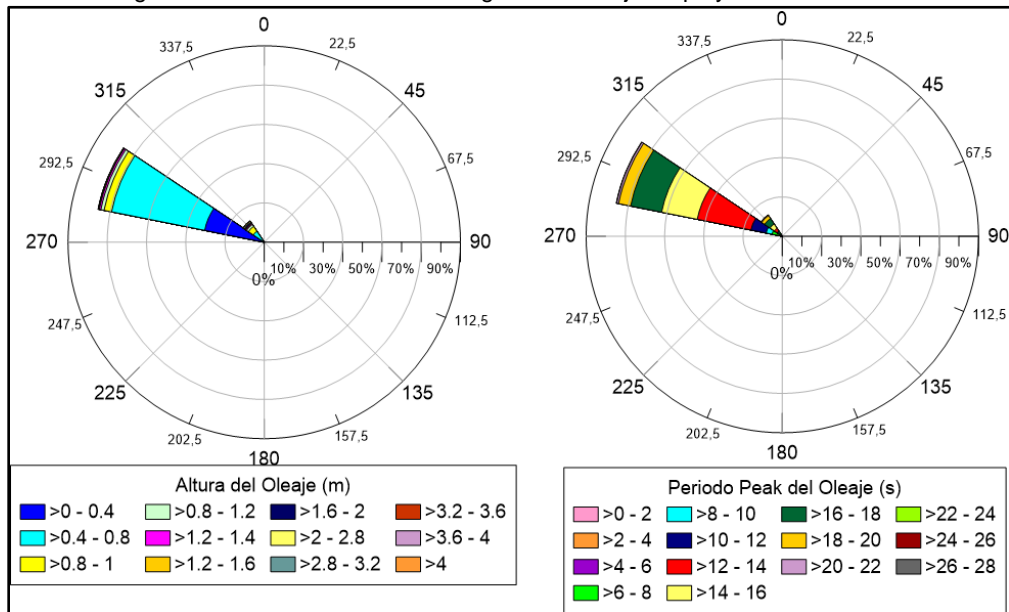
### 14.3 ROSAS DE BARRAS DEL ESTUDIO DE OLAJE.

Figura 14-1: Rosa de barras del registro de oleaje en playas Placeres y Portales.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14-2: Rosa de barras del registro de oleaje en playa Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración propia.

## 14.4 TABLA DE ALTURAS DE OLA UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS DE CLIMA EXTREMO

Tabla 14-7: Lista de máximos anuales para el periodo de 1979-2017, Caleta Abarca.

Nº	fecha	Hmo	Tp	Tm	Dirp	Dirm
1	08-08-2015 18:00	4,51	11,45	9,00	321,50	317,15
2	13-07-2016 18:00	3,96	12,08	8,01	294,30	306,50
3	24-07-1987 6:00	3,95	9,79	8,07	323,40	315,72
4	25-06-2017 18:00	3,85	12,20	8,90	302,20	312,60
5	27-05-2012 0:00	3,65	9,79	7,84	322,60	313,90
6	11-06-1997 9:00	3,53	9,49	7,62	323,40	318,98
7	04-07-1984 9:00	3,47	8,90	7,13	322,20	311,55
8	05-06-1998 12:00	3,45	9,40	7,50	323,00	314,59
9	26-07-1989 6:00	3,36	9,12	7,21	323,30	314,17
10	12-08-1982 15:00	3,35	9,32	7,41	323,10	318,33
11	05-06-1992 15:00	3,31	8,92	6,99	323,20	317,35
12	06-07-2010 15:00	3,28	8,87	7,08	322,50	311,23
13	16-08-2005 9:00	3,25	8,65	7,42	293,70	308,49
14	26-07-1979 6:00	3,23	8,65	7,64	323,40	313,40
15	07-06-2006 12:00	3,19	8,58	7,28	324,10	313,58
16	12-06-1996 6:00	3,01	8,53	7,43	324,30	314,12
17	28-07-1988 18:00	3,01	8,36	7,28	293,70	311,32
18	12-07-2008 12:00	2,99	8,56	7,13	324,10	314,85
19	10-04-1980 12:00	2,98	8,83	7,03	322,40	313,19
20	25-05-2002 12:00	2,94	11,63	7,93	303,80	310,26
21	19-05-1993 15:00	2,92	8,23	7,56	293,90	311,06
22	19-07-2001 6:00	2,89	8,76	6,85	293,90	310,11
23	18-06-2011 18:00	2,89	8,40	6,87	323,30	314,28
24	20-04-1986 21:00	2,88	8,34	6,92	323,30	313,86
25	07-07-1983 0:00	2,83	7,78	6,33	322,30	311,91
26	14-08-2009 21:00	2,83	7,96	6,81	323,40	311,48
27	23-06-2000 21:00	2,83	8,62	6,81	324,70	321,14
28	20-05-2003 21:00	2,72	10,00	7,42	294,30	311,06
29	11-05-1981 15:00	2,59	8,54	7,03	325,70	319,07
30	23-05-1994 6:00	2,56	11,01	7,06	293,70	309,13
31	23-07-1995 0:00	2,49	12,74	7,31	293,20	306,67
32	21-07-2004 21:00	2,48	7,31	6,98	293,10	307,44
33	28-05-1999 3:00	2,46	7,86	6,45	323,60	317,26
34	07-08-1990 0:00	2,40	7,88	6,72	323,40	313,42
35	03-06-2014 15:00	2,36	7,18	6,24	293,30	308,94
36	13-06-1985 9:00	2,35	7,49	6,26	324,00	315,52
37	27-05-1991 3:00	2,32	7,66	6,56	325,20	314,56
38	03-05-2013 3:00	2,19	9,30	6,50	293,20	306,00
39	13-06-2007 9:00	1,74	6,85	5,58	294,00	309,67

Fuente: Registro de oleaje, Atlas de Oleaje (Beyá, 2016).

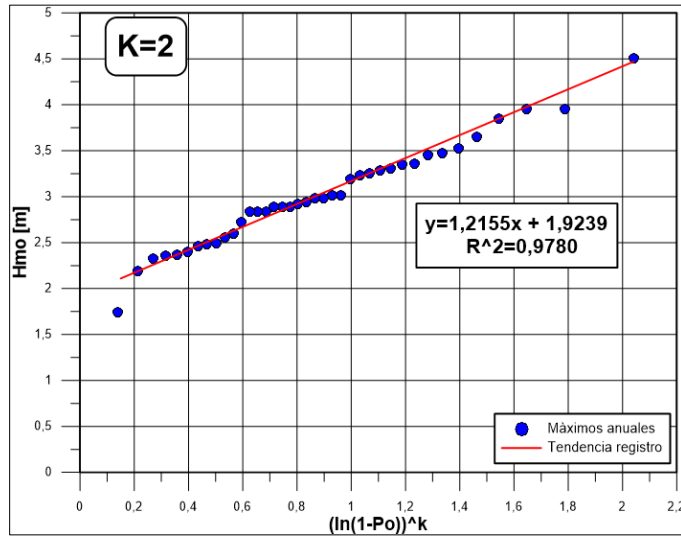
Tabla 14-8: Lista de máximos anuales para el periodo de 1979-2017, Placeres y Portales.

Nº	fecha	Hmo	Tp	Tm	Dirp	Dirm
1	08-08-2015 18:00	4,27	11,37	8,95	335,60	329,11
2	11-07-1987 15:00	3,61	10,08	8,03	337,10	329,10
3	25-06-2017 18:00	3,38	11,90	8,50	329,50	326,50
4	11-06-1997 6:00	3,37	9,15	7,35	337,00	328,26
5	13-07-2016 18:00	3,20	8,51	7,43	320,20	321,37
6	12-08-1982 15:00	3,18	9,30	7,47	336,60	327,16
7	05-06-1998 12:00	3,13	9,23	7,36	335,60	325,79
8	05-06-1992 15:00	3,11	8,95	7,13	338,10	326,16
9	04-07-1984 9:00	3,06	8,68	6,99	335,20	323,04
10	26-07-1989 6:00	3,02	9,01	7,10	336,90	325,27
11	03-05-2005 15:00	2,96	9,06	7,38	337,50	327,68
12	06-07-2010 15:00	2,86	8,59	6,88	335,90	323,10
13	26-07-1979 6:00	2,86	8,58	7,29	336,00	325,58
14	27-05-2012 6:00	2,85	9,54	7,52	328,80	323,55
15	14-05-2002 21:00	2,83	9,15	7,22	338,70	328,91
16	25-07-1980 3:00	2,83	8,78	7,01	339,50	329,40
17	07-06-2006 12:00	2,82	8,48	6,97	337,40	325,41
18	04-07-1996 15:00	2,80	8,99	7,25	338,00	327,13
19	23-06-2000 21:00	2,72	8,62	6,85	339,00	329,14
20	12-07-2008 12:00	2,69	8,42	6,89	338,30	325,80
21	30-07-2001 9:00	2,64	8,24	6,61	338,90	327,06
22	18-06-2011 15:00	2,62	8,24	6,75	338,00	325,93
23	28-07-1988 18:00	2,58	8,28	6,83	337,90	324,41
24	20-04-1986 21:00	2,58	8,11	6,70	337,10	324,69
25	07-07-1983 0:00	2,52	7,69	6,30	338,20	322,11
26	19-05-1993 15:00	2,48	8,05	6,99	336,60	324,72
27	14-08-2009 21:00	2,46	7,83	6,48	337,90	323,33
28	11-05-1981 15:00	2,42	8,47	6,90	339,20	328,17
29	20-05-2003 21:00	2,34	9,28	7,00	336,50	323,92
30	28-05-1999 0:00	2,33	7,67	6,36	339,40	327,30
31	23-05-1994 3:00	2,15	7,58	6,43	337,50	323,16
32	25-07-2004 15:00	2,14	7,87	6,40	338,90	324,71
33	13-06-1985 9:00	2,14	7,41	6,10	339,10	325,22
34	07-08-1990 0:00	2,13	7,76	6,40	337,70	324,16
35	27-05-1991 3:00	2,06	7,58	6,27	339,50	325,80
36	01-09-2014 9:00	2,02	7,14	6,06	339,50	324,80
37	23-07-1995 0:00	1,97	6,75	6,39	337,90	321,98
38	27-05-2013 21:00	1,84	6,85	5,69	339,00	322,80
39	13-06-2007 9:00	1,51	6,51	5,37	338,90	320,14

Fuente: Registro de oleaje, Atlas de Oleaje (Beyá, 2016).

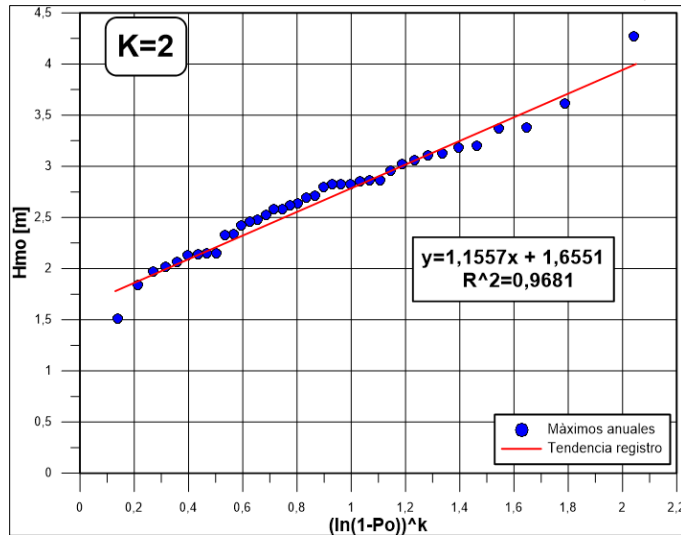
## 14.5 FIGURAS DEL ANÁLISIS DE LARGO PLAZO DE OLEAJE.

Figura 14-3: Función linealizada de Weibull-Petrauskas, Caleta Abarca.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 14-4: Función linealizada de Weibull-Petrauskas, Placeres y Portales.



Fuente. Elaboración propia.

## 14.6 TABLA DE CONSTITUYENTES ARMÓNICO PARA LA SERIE DE DATOS DE NOVIEMBRE DE 2016.

Tabla 14-9: Amplitud y fase de las constantes armónicas, incluye sus respectivos errores. Noviembre 2016.

Constituyente	Frecuencia (cph)	Amplitud (m)	Error Amplitud(m)	Fase (°)	Error Fase(°)
MM	0,002	0,002	0,011	213,780	212,730
MSF	0,003	0,017	0,014	266,770	55,610
ALP1	0,034	0,009	0,023	205,170	155,650
2Q1	0,036	0,009	0,021	330,360	130,060
Q1	0,037	0,023	0,025	134,650	68,370
*O1	0,039	0,091	0,025	253,980	22,070
*NO1	0,040	0,043	0,024	212,120	35,160
*K1	0,042	0,106	0,025	277,860	22,460
*J1	0,043	0,047	0,027	332,620	34,190
OO1	0,045	0,021	0,034	0,210	112,380
UPS1	0,046	0,018	0,035	107,800	129,600
EPS2	0,076	0,020	0,061	29,120	173,870
MU2	0,078	0,030	0,063	59,170	141,480
*N2	0,079	0,129	0,085	116,910	34,950
*M2	0,081	0,404	0,094	144,830	15,730
*L2	0,082	0,157	0,068	100,870	28,160
*S2	0,083	0,184	0,091	134,080	26,700
ETA2	0,085	0,024	0,101	334,350	194,080
MO3	0,119	0,003	0,007	173,610	166,280
M3	0,121	0,005	0,007	190,470	98,600
MK3	0,122	0,002	0,008	84,540	166,370
SK3	0,125	0,007	0,008	210,200	86,920
MN4	0,160	0,002	0,003	355,280	91,750
M4	0,161	0,002	0,003	283,750	78,250
SN4	0,162	0,003	0,003	154,150	63,460
MS4	0,164	0,002	0,003	129,240	112,980
S4	0,167	0,001	0,003	239,670	167,930
2MK5	0,203	0,002	0,003	89,710	108,340
2SK5	0,208	0,001	0,003	58,770	167,840
2MN6	0,240	0,002	0,002	37,320	71,270
M6	0,242	0,001	0,002	29,390	131,330
2MS6	0,244	0,001	0,002	84,080	133,950
2SM6	0,247	0,002	0,002	218,380	92,090
3MK7	0,283	0,002	0,002	159,650	67,480
M8	0,322	0,001	0,001	354,490	112,920

Fuente: Análisis armónico de marea.

## 14.7 TABLAS DE DATOS DEL LEVANTAMIENTO DE PERFILES TRANSVERSALES

Tabla 14-10: Registro de mediciones realizadas entre 2013-2017, playa Caleta Abarca.

Campañas	2013	2014	2015	2016	2017
nº1	10-abr	17-ene	27-mar	30-ene	27-ene
nº2	13-jun	22-feb	27-abr	24-mar	14-jun
nº3	01-ago	29-mar	08-may	27-abr	28-jun
nº4	16-oct	19-abr	05-ago	01-jun	21-jul
nº5	13-nov	03-may	10-ago	05-jul	28-sep
nº6	21-dic	-	20-ago	18-jul	25-oct
nº7	-	-	09-sep	17-ago	13-dic
nº8	-	-	25-sep	07-sep	-
nº9	-	-	30-nov	07-oct	-
nº10	-	-	-	16-dic	-

Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

Tabla 14-11: Registro de mediciones realizadas entre 2014-2017, playa Portales.

Campañas	2014	2015	2016	2017
nº1	30-oct	27-ene	30-ene	27-ene
nº2	27-nov	27-mar	10-mar	27-mar
nº3	23-dic	27-abr	21-mar	14-jun
nº4	-	08-may	08-jun	28-jun
nº5	-	05-jun	06-jul	21-jul
nº6	-	14-jul	16-jul	28-sep
nº7	-	05-ago	12-ago	25-oct
nº8	-	10-ago	08-sep	13-dic
nº9	-	21-ago	06-oct	-
nº10	-	25-sep	18-nov	-
nº11	-	12-nov	16-dic	-
nº12	-	30-nov	-	-
nº13	-	28-dic	-	-

Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

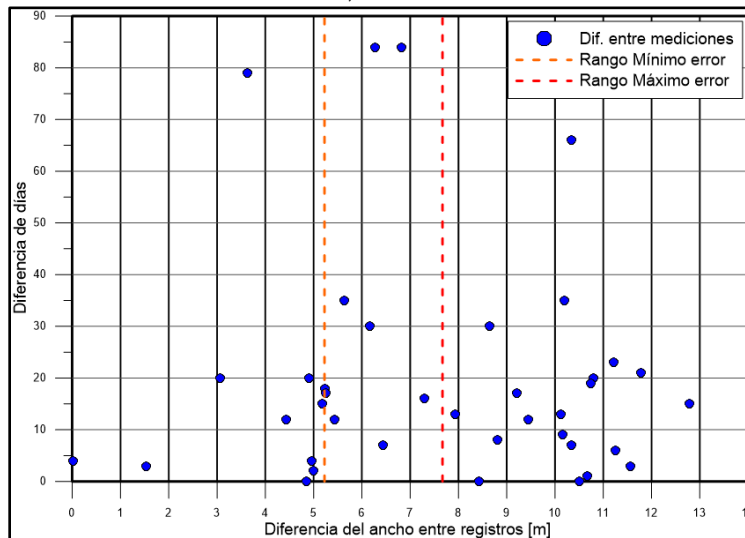
Tabla 14-12: Registro mediciones realizadas entre 2014-2017, playa Placeres.

Campañas	2014	2015	2016	2017
nº1	09-oct	03-feb	30-ene	27-ene
nº2	30-oct	27-mar	21-mar	27-mar
nº3	27-nov	27-abr	08-jun	14-jun
nº4	23-dic	08-may	06-jul	28-jun
nº5	-	05-jun	16-jul	21-jul
nº6	-	14-jul	10-ago	28-sep
nº7	-	05-ago	08-sep	25-oct
nº8	-	10-ago	06-oct	13-dic
nº9	-	21-ago	16-dic	-
nº10	-	25-sep	-	-
nº11	-	12-nov	-	-
nº12	-	30-nov	-	-
nº13	-	28-dic	-	-

Fuente: Archivo programa de monitoreo de playas de la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica.

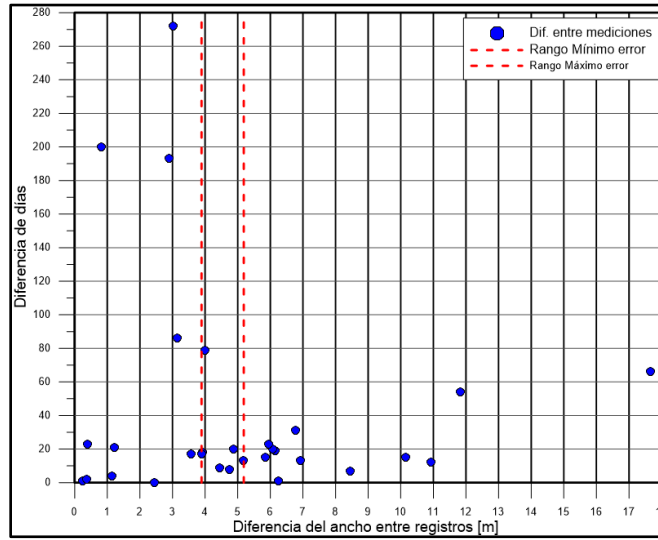
## 14.8 FIGURAS DE COMPARACIÓN DEL ANCHO DE LOS PERFILES ENTRE FOTOGRAFÍAS- MEDICIONES.

Figura 14-5: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017-Perfil nº4, Portales.



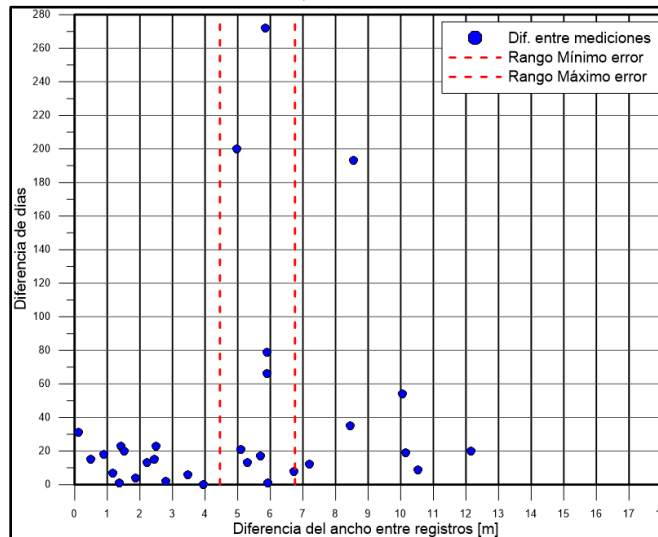
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-6: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº2, Placeres.



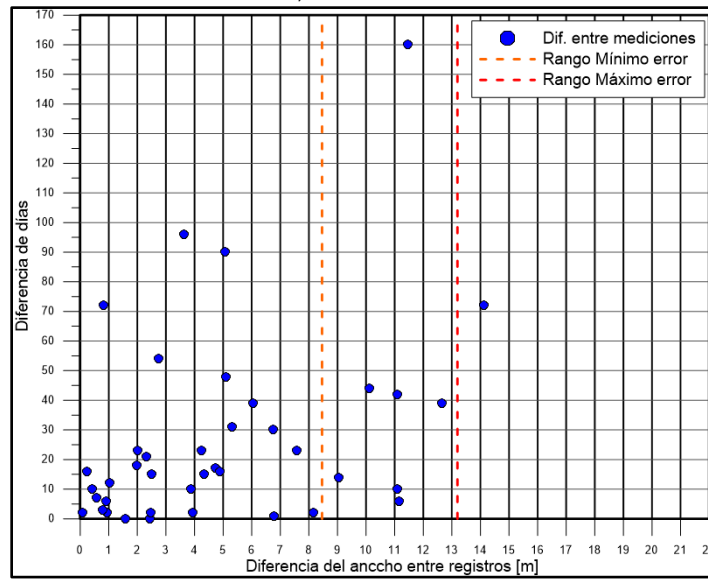
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-7: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil nº3, Placeres.



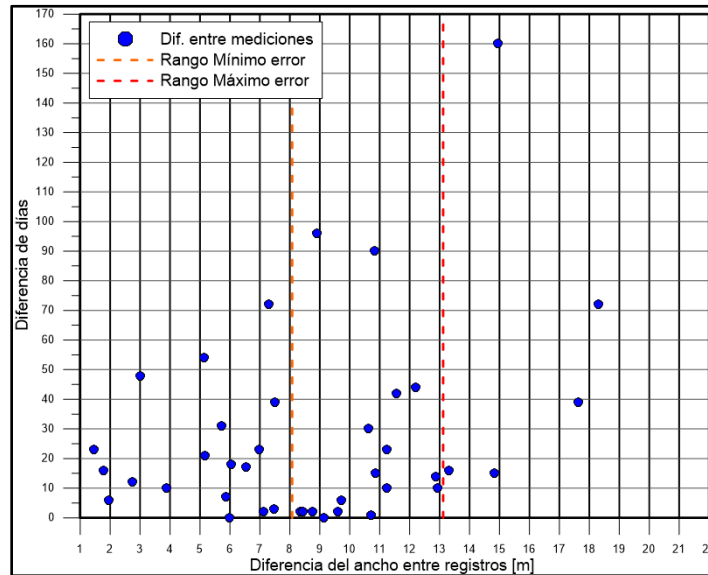
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-8: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil n°2, Caleta Abarca.



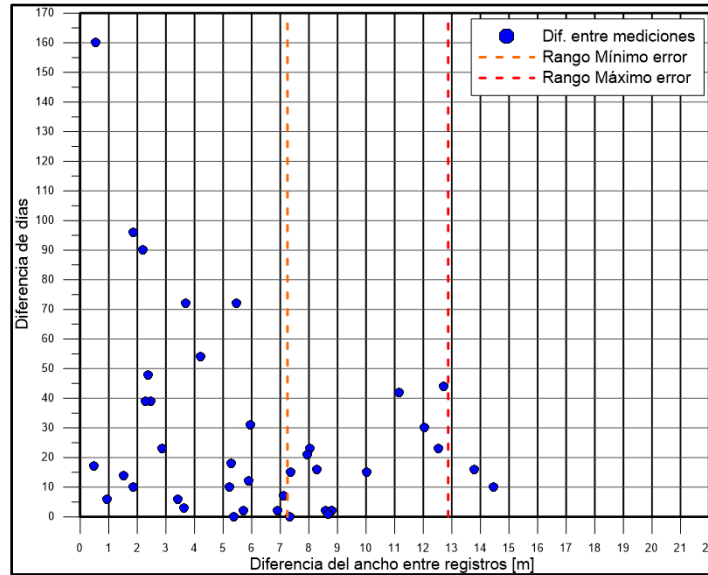
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-9: Diferencias días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil n°3, Caleta Abarca.



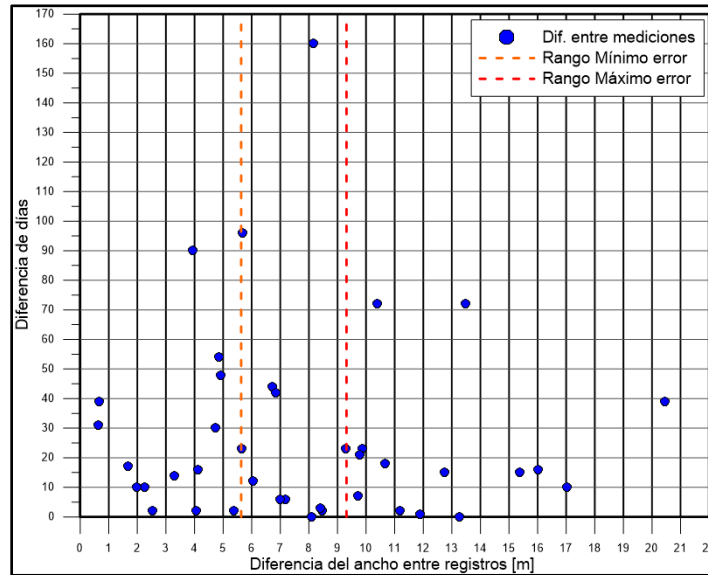
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-10: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil n°4, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

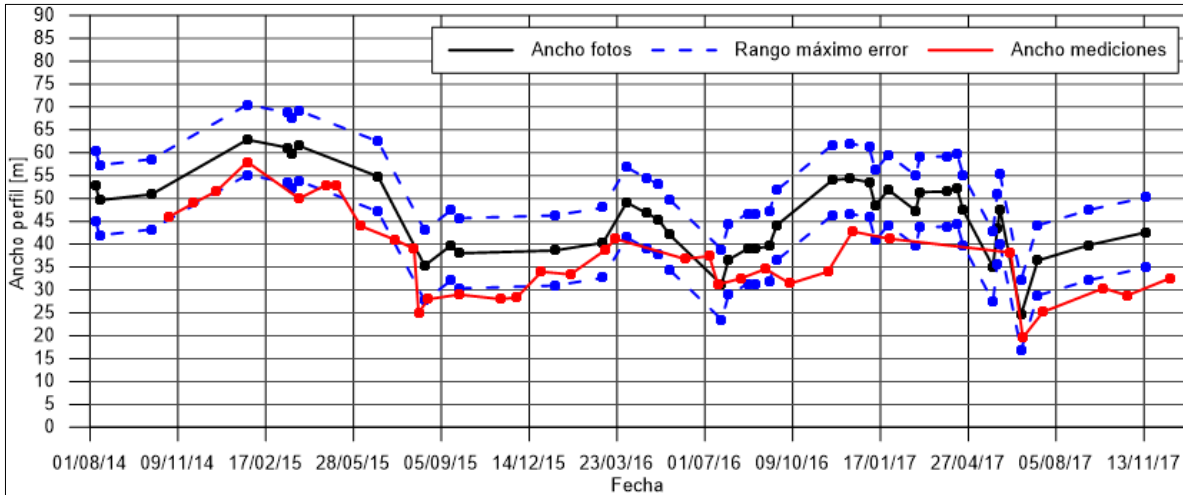
Figura 14-11: Diferencias de días y anchos entre fotografías y mediciones realizadas durante 2014-2017- Perfil n°5, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

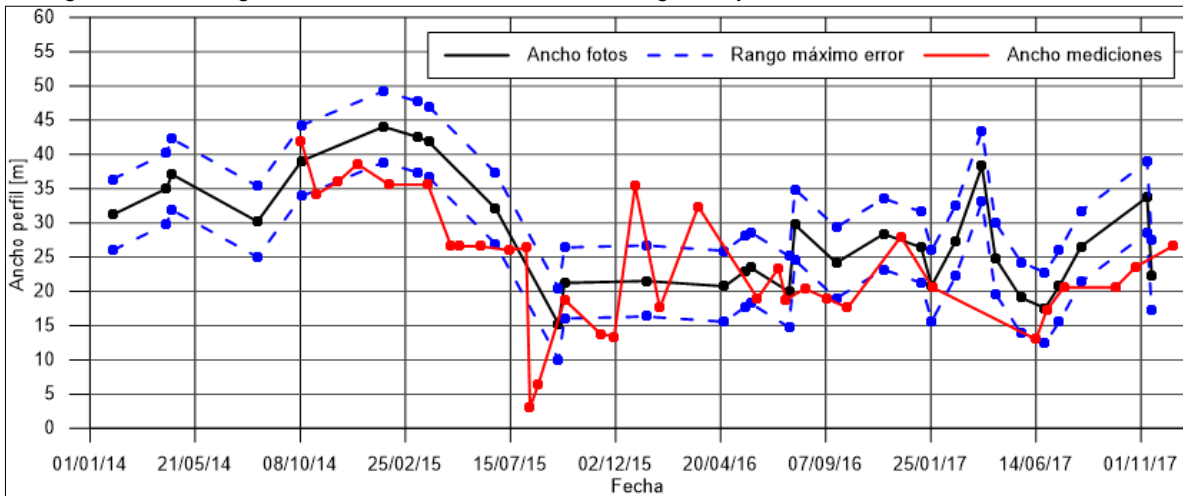
### 14.8.1 GRÁFICOS DE VALIDACIÓN DE DATOS DE FOTOGRAFÍAS CON VISTA EN PLANTA.

Figura 14-12: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº4, Portales.



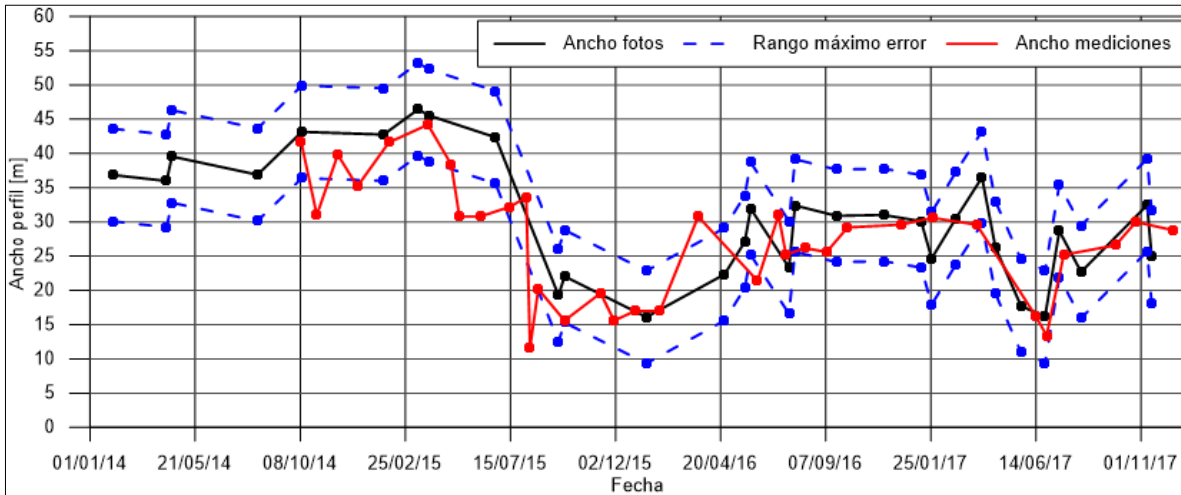
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-13: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº2, Placeres.



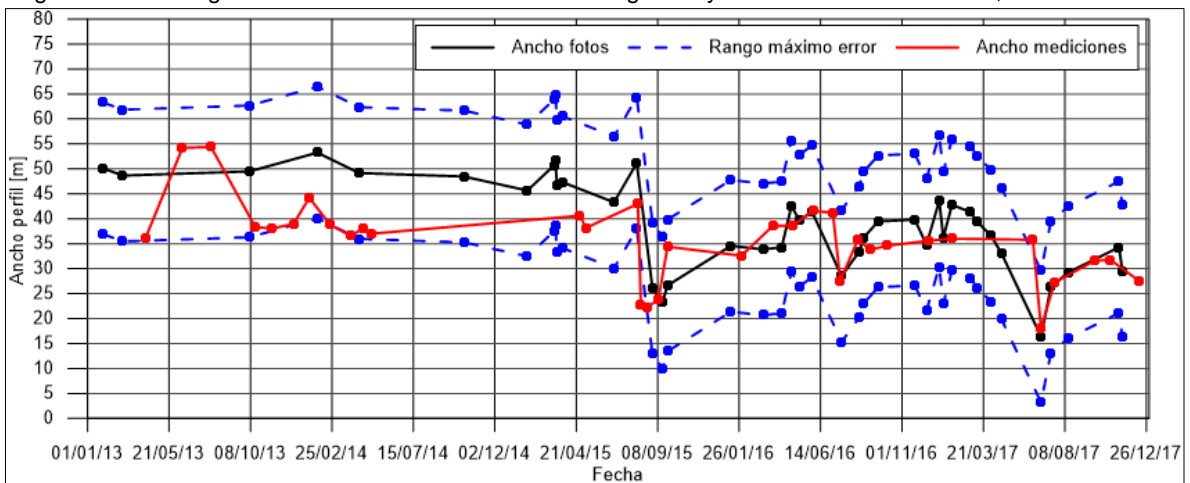
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-14: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil n°3, Placeres.



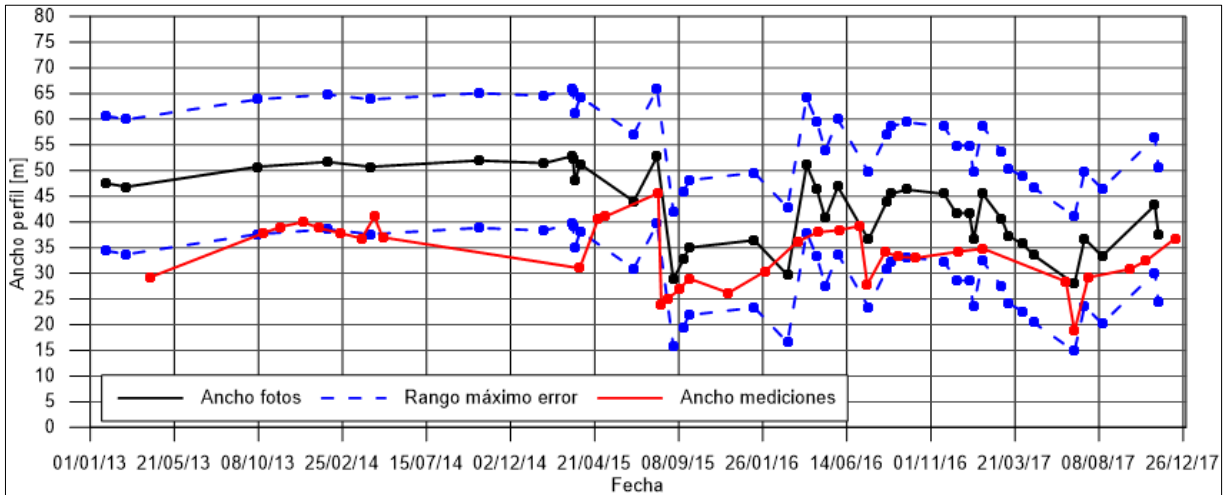
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-15: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil n°2, Caleta Abarca.



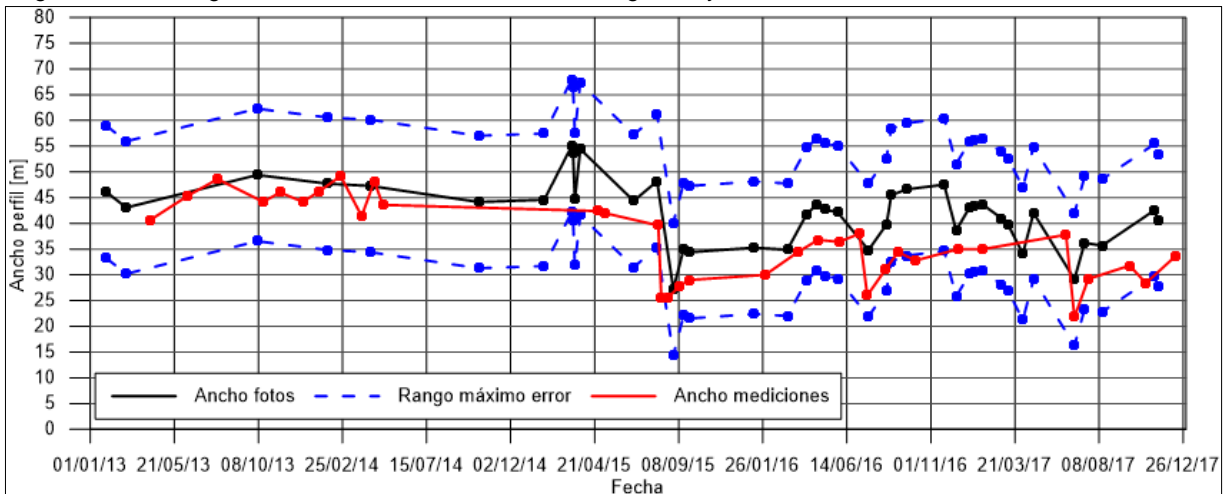
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-16: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones -Perfil nº3, Caleta Abarca.



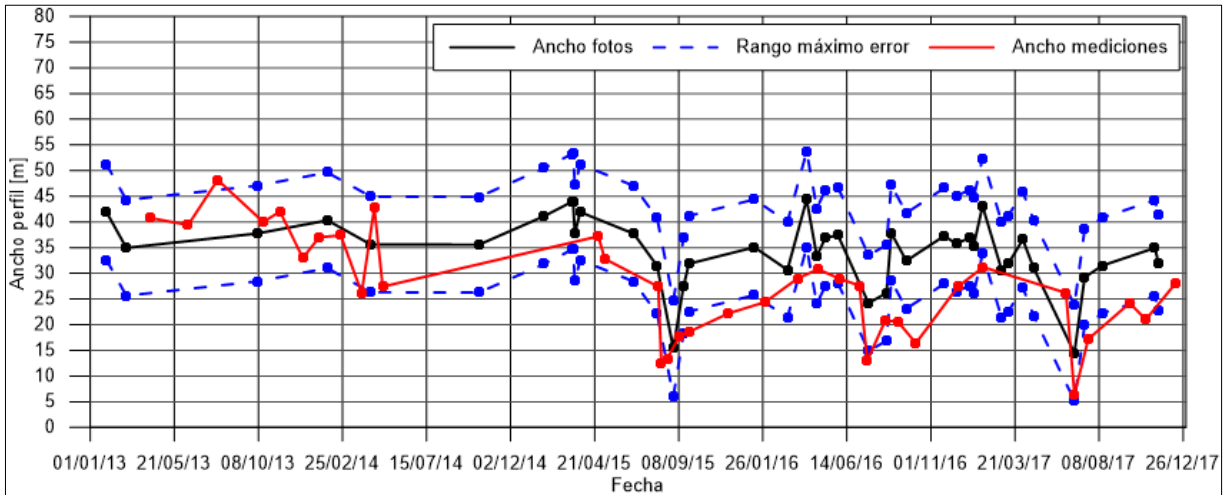
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-17: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº4, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

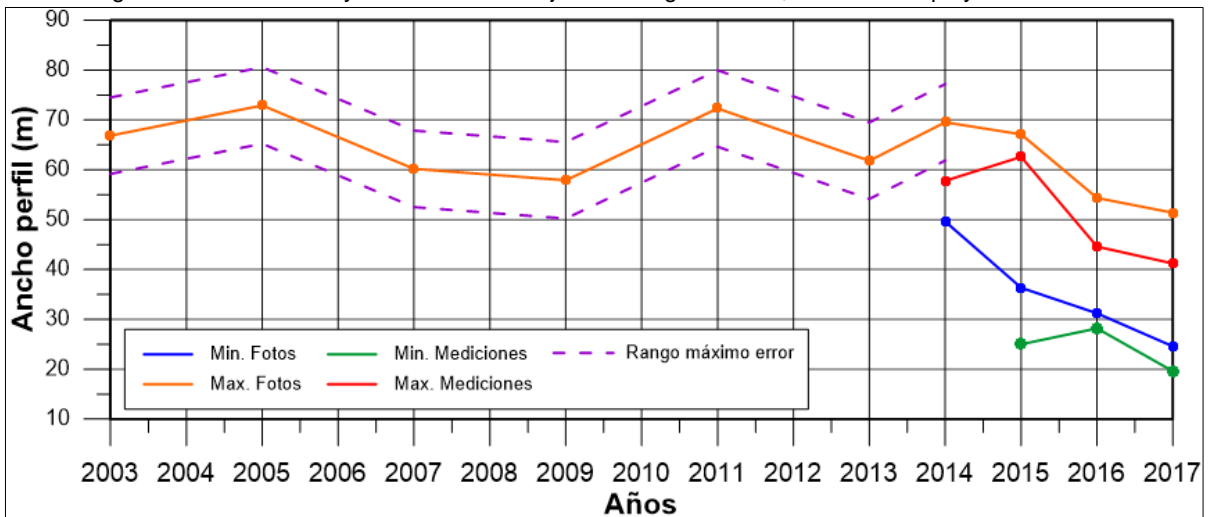
Figura 14-18: Rango de variación del ancho entre las fotografías y las mediciones- Perfil nº5, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

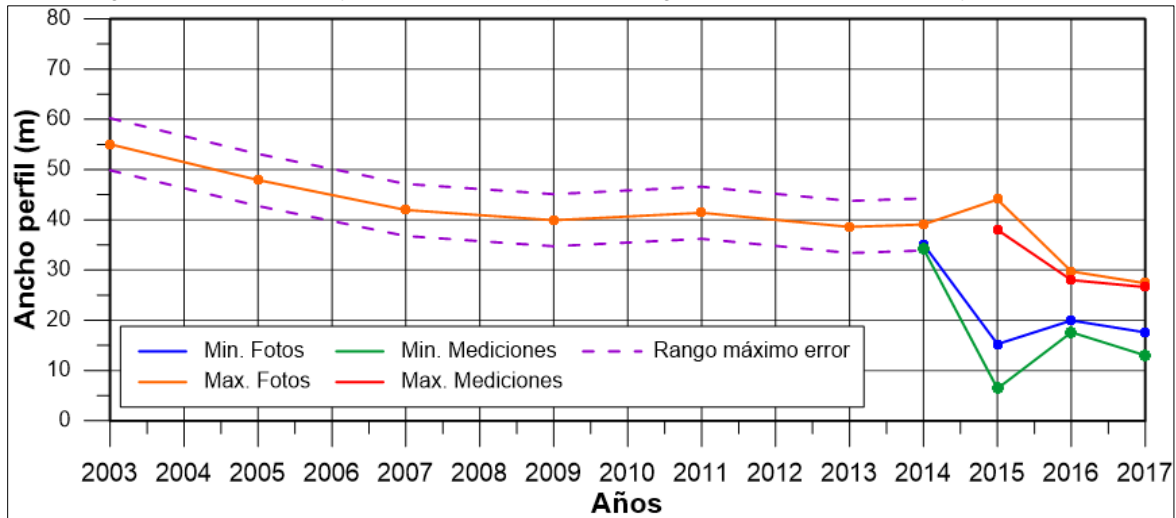
### 14.8.2 GRÁFICOS DE COMPARACIÓN MÁXIMOS Y MÍNIMOS ANUALES DE LAS FOTOGRAFÍAS Y MEDICIONES, JUNTO AL RANGO DE ERROR.

Figura 14-19: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil nº4 de playa Portales.



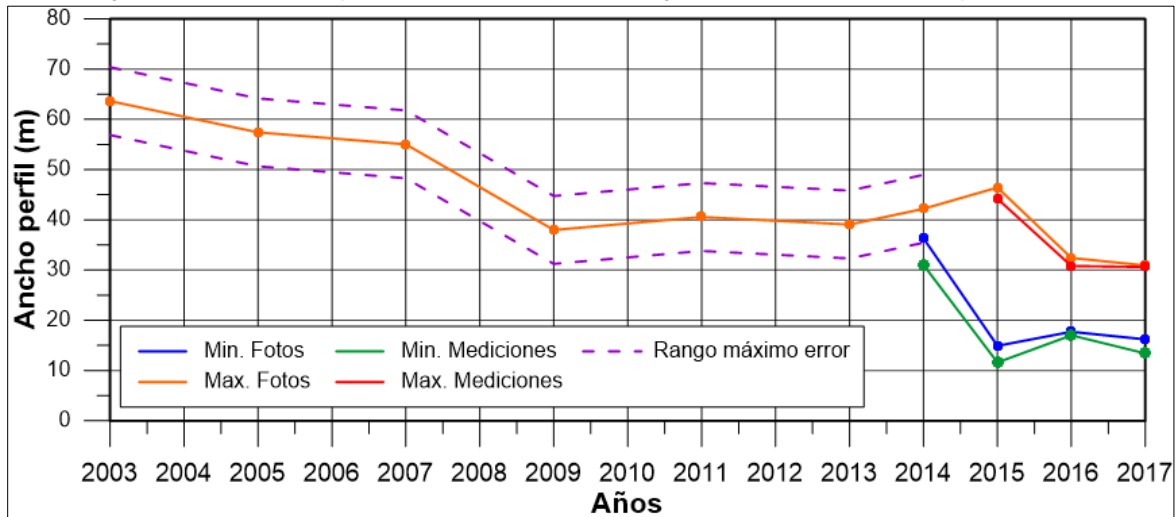
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-20: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°2 de playa Placeres.



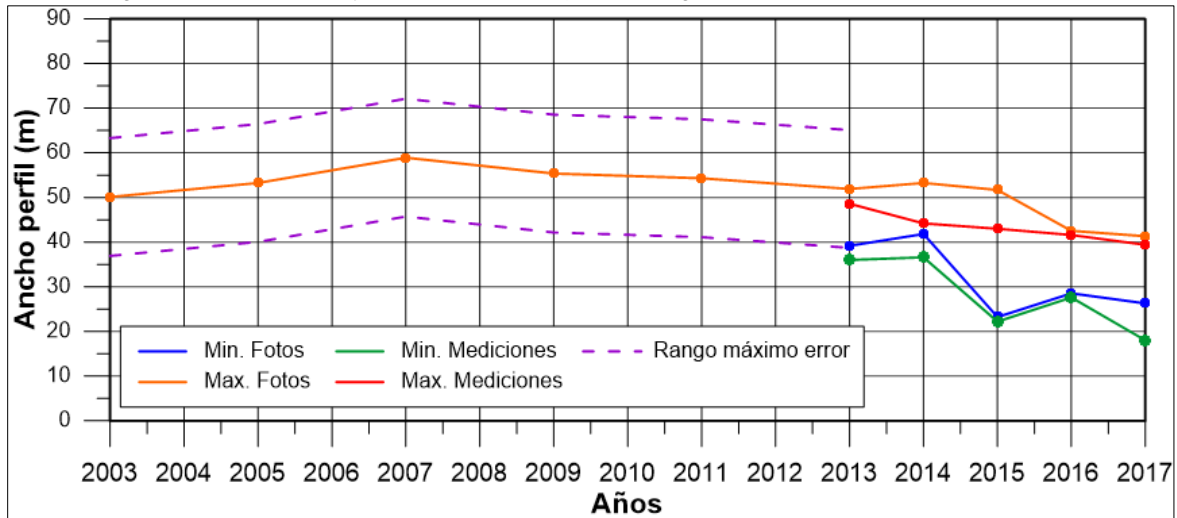
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-21: Máximos y mínimos anuales junto a rango de error, Perfil n°3 de playa Placeres.



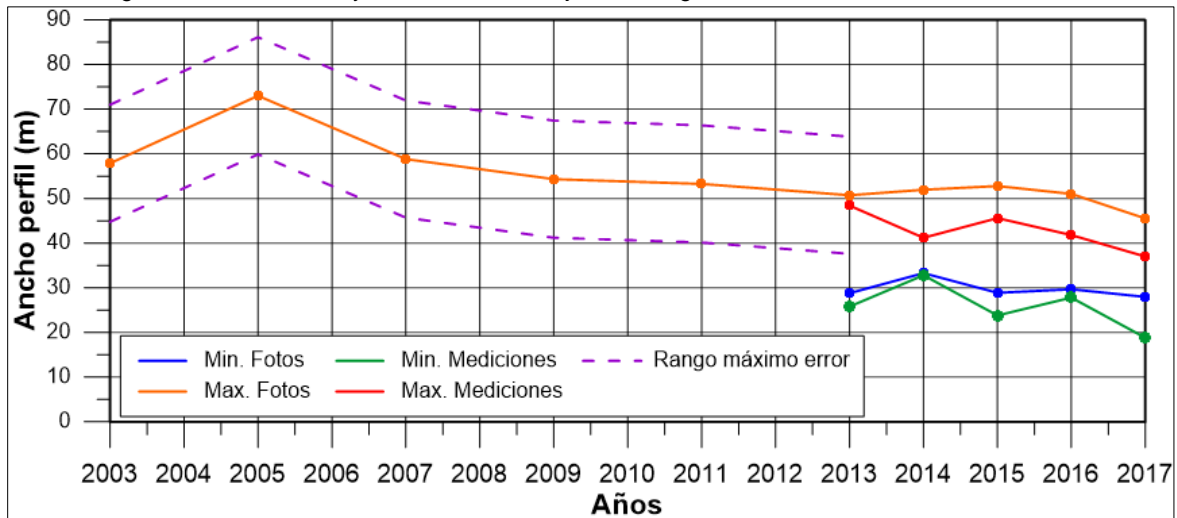
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-22: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil n°2, Caleta Abarca.



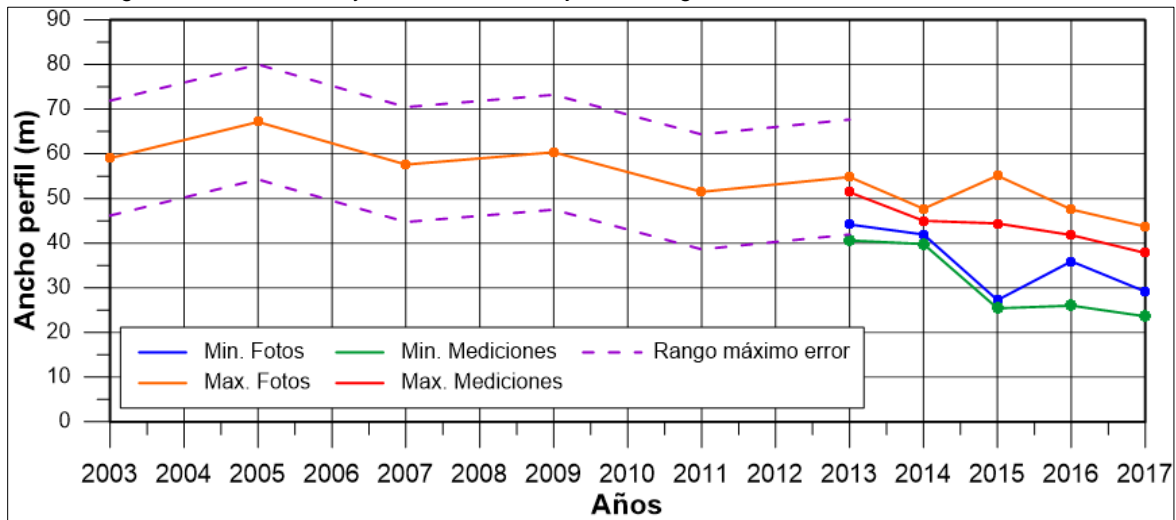
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-23: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil n°3, Caleta Abarca.



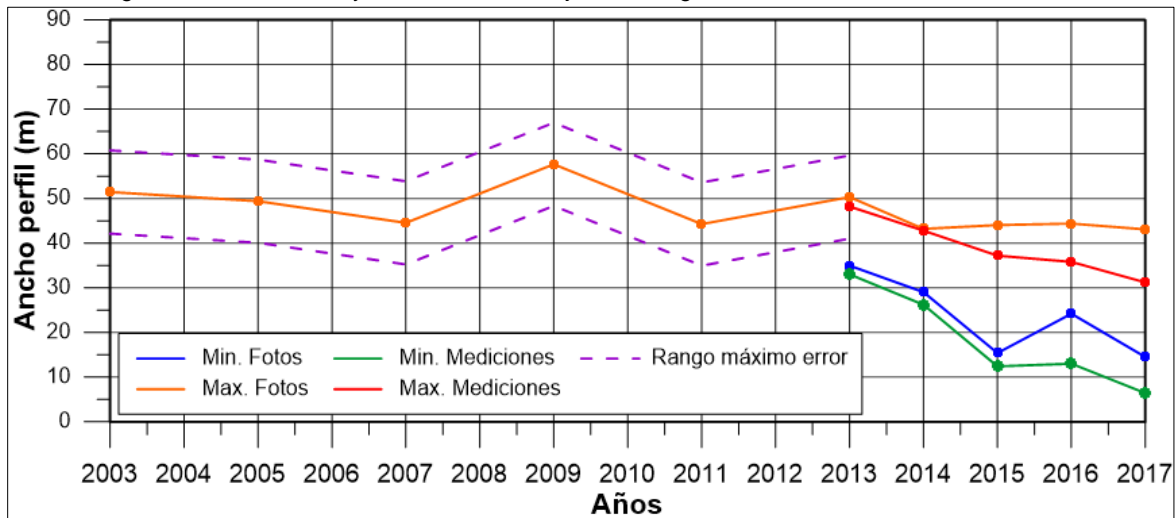
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-24: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil n°4, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

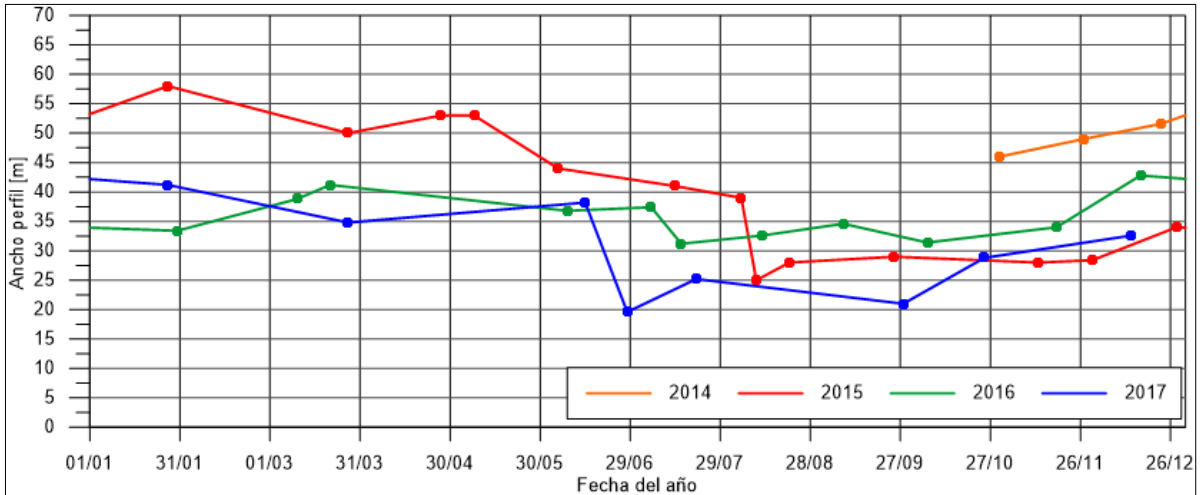
Figura 14-25: Máximos y mínimos anuales, junto a rango de error, Perfil n°5, Caleta Abarca.



Fuente: Elaboración Propia.

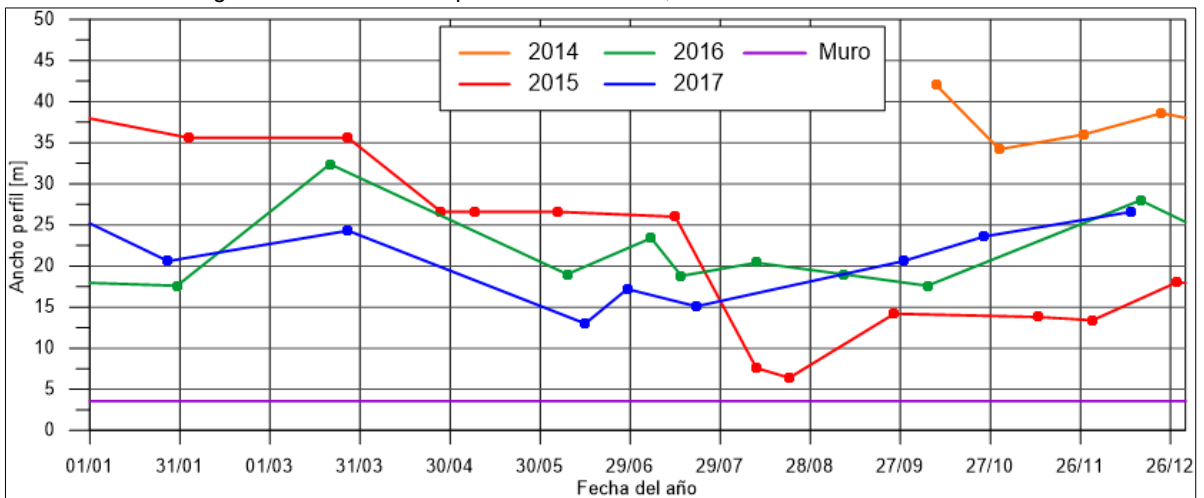
### 14.8.3 GRÁFICOS DE ANCHOS DEL PERFIL TRANSVERSAL OBTENIDO EN LAS MEDICIONES.

Figura 14-26 Ancho del perfil nº4 - Portales, mediciones entre 2014-2017.



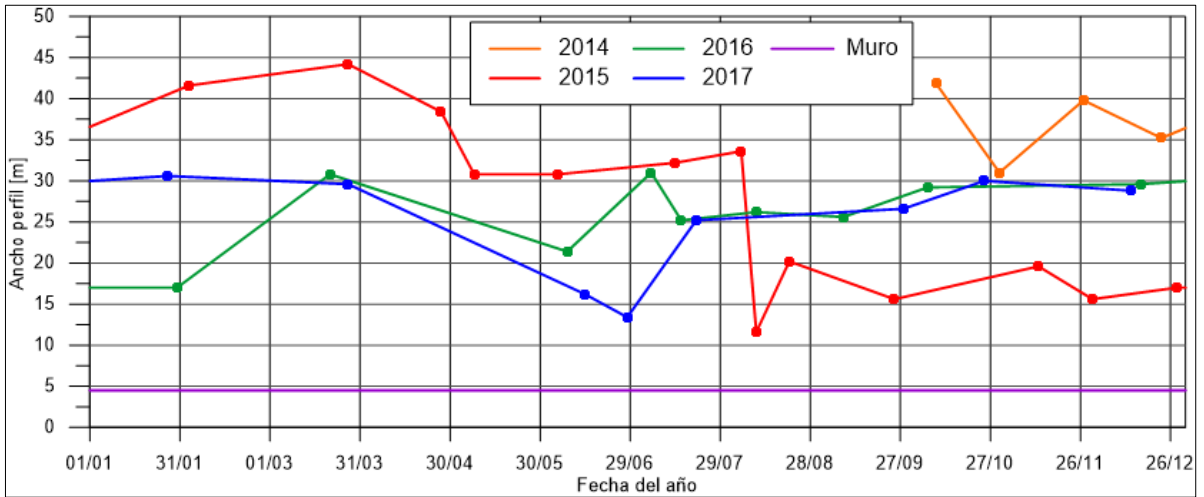
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-27: Ancho del perfil nº2 - Placeres, mediciones entre 2014-2017.



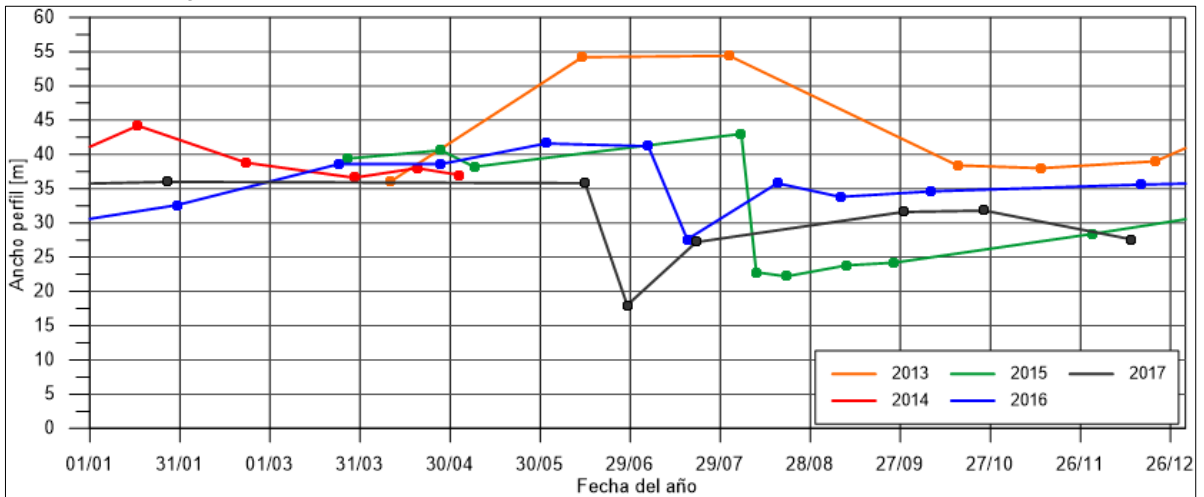
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-28: Ancho del Perfil nº3 - Placeres, mediciones entre 2014-2017.



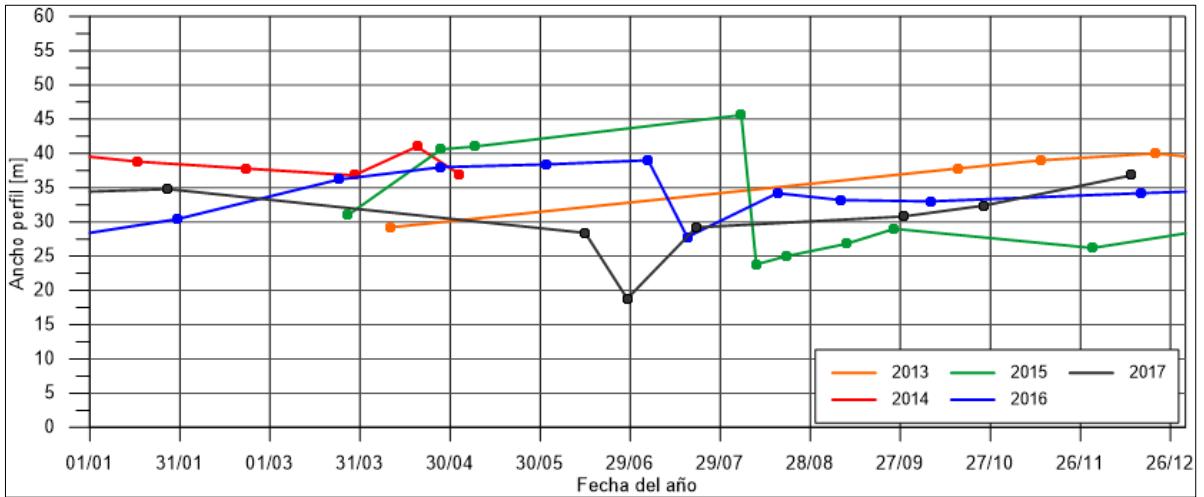
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-29: Ancho del perfil nº2 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.



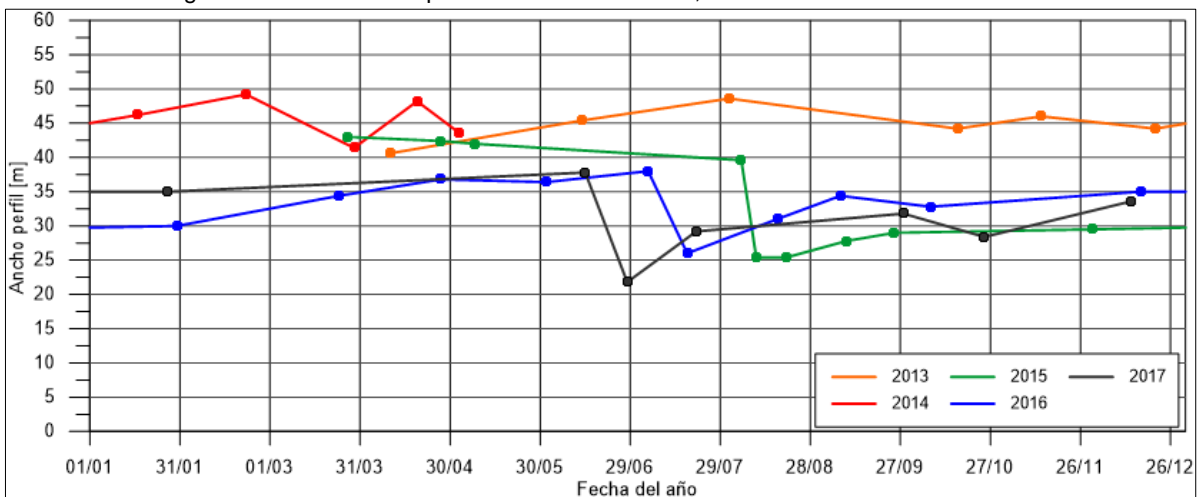
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-30: Ancho del perfil nº3 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.



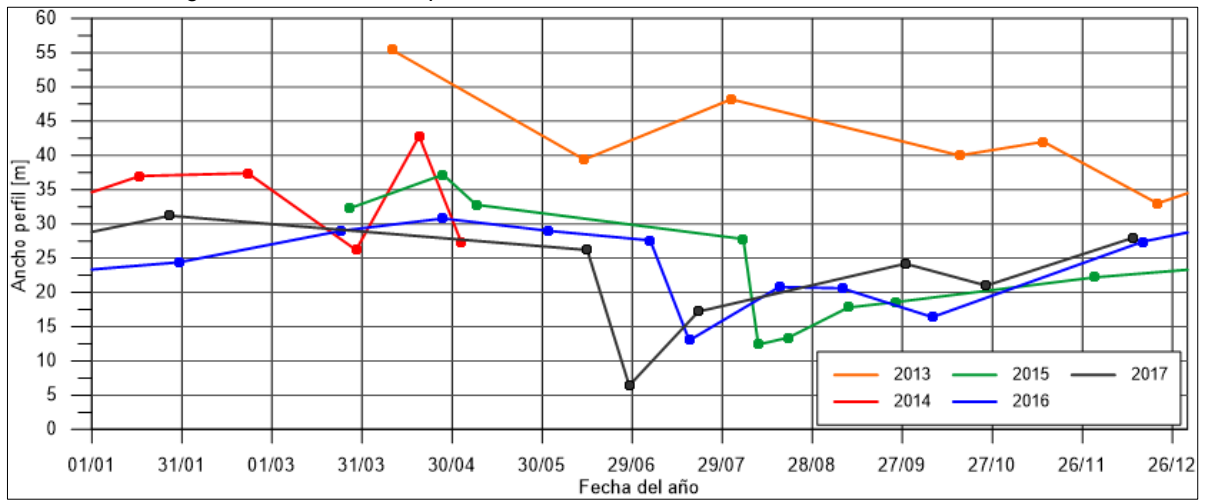
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-31: Ancho del perfil nº4 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 14-32: Ancho del perfil n°5 - Caleta Abarca, mediciones entre 2013-2017.



Fuente: Elaboración Propia.

