



Facultad de Ingeniería

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**Implementación de una metodología de reconstrucción de
perfiles de playa a partir de mediciones indirectas: una
aplicación a playa El Encanto, Reñaca, Región de
Valparaíso.**

Gabriela Rocío Frías Adaos

Diciembre 2016

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA DE RECONSTRUCCIÓN DE
PERFILES DE PLAYA A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS: UNA
APLICACIÓN A PLAYA EL ENCANTO, REÑACA, REGIÓN DE VALPARAÍSO.**

Gabriela Frías Adaos

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

SR. MAURICIO MOLINA PEREIRA
Profesor guía

SR. HERNÁN VERGARA CORTÉS
Revisor 1

SR. EDUARDO GONZÁLEZ PACHECO
Revisor 2

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado 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.

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta memoria fue posible gracias al apoyo de mi profesor guía Mauricio Molina Pereira, quien además de agregar valor a mi investigación, me incentivó a desarrollar este trabajo aplicado a la playa El Encanto, zona que por mucho tiempo fue observada y admirada pero nunca estudiada en profundidad. Gracias por su paciencia, ayuda permanente y por depositar su confianza en la culminación de este importante proceso.

Quisiera agradecer también a mi comisión revisora, al profesor Hernán Vergara por disponer desinteresadamente de su tiempo y facilitarme la información básica y fundamental sobre la cual se erige este proyecto de investigación. Al profesor Eduardo González por su ayuda y disponibilidad permanente en la colaboración de esta memoria, sin duda cualidades que espero personalmente también adquirir y ofrecer.

A mi familia, por su incondicional apoyo y comprensión, por brindarme las herramientas que me permitirán terminar este ciclo y convertirme en una profesional, espero cumplir las expectativas y colmarlos de orgullo. A Diego, agradecer su cariño y compañía en los buenos y malos momentos. Sin duda estoy en deuda por las innumerables ocasiones que el mar no nos trató bien y sin embargo no dudaste en ayudar.

Finalmente agradecer a aquellos compañeros de la carrera, que junto con compartir jornadas de trabajo y recreación, fueron un apoyo necesario para llegar a esta instancia final de pregrado.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	2
2.1	OBJETIVO GENERAL	2
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3	ALCANCES	3
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
5	MARCO TEÓRICO	8
5.1	OLEAJE.....	8
5.2	MORFOLOGÍA DE PLAYAS	11
5.3	HIDRODINÁMICA DE LA PLAYA.....	12
5.3.1	<i>CORRIENTES ASOCIADAS A LA ROTURA</i>	12
5.3.2	<i>CORRIENTES LONGITUDINALES</i>	12
5.3.3	<i>CORRIENTES DE RETORNO</i>	13
5.3.4	<i>CORRIENTES DE RESACA</i>	14
5.4	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	14
5.4.1	<i>MODOS DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</i>	16
5.4.2	<i>TRANSPORTE LONGITUDINAL DE SEDIMENTOS</i>	16
5.4.3	<i>TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS</i>	17
6	ANTECEDENTES DEL MEDIO	19
6.1	EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA PLAYA	19
6.2	CARACTERÍSTICAS EL ÁREA DE ESTUDIO	20
6.2.1	<i>CLIMATOLOGÍA</i>	20
6.2.1.1	<i>PRECIPITACIONES</i>	20
6.2.1.2	<i>VIENTOS</i>	20
6.2.1.3	<i>MAREAS</i>	21
6.2.1.4	<i>CORRIENTES</i>	21
6.2.2	<i>CONCESIONES MARÍTIMAS</i>	22
6.2.3	<i>HIDROGRAFÍA</i>	23
6.2.3.1	<i>ESTERO MARGA-MARGA</i>	24
6.2.3.2	<i>ESTERO REÑACA</i>	24
6.2.4	<i>BATIMETRÍA Y LÍNEA DE COSTA</i>	25
7	METODOLOGÍA	27
7.1	SELECCIÓN DE PERFILES DE PLAYA	28
7.2	MUESTERO DE SEDIMENTOS	30
7.3	CAMPAÑA DE LEVANTAMIENTO DE PERFILES	31
7.4	ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO.....	33
7.4.1	<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</i>	33
7.4.2	<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	38
7.4.3	<i>ANÁLISIS MINERALÓGICO</i>	40
7.5	POSICIÓN DEL PUNTO DE CAPTURA FOTOGRÁFICA.....	42
7.6	SELECCIÓN DE PUNTOS NOTABLES DE LA PLAYA	43

7.7	MEDICIÓN DE NIVEL DE ARENA EN FOTOGRAFÍAS	44
7.8	ANÁLISIS DE CALIDAD DE DATOS.....	46
7.9	CÁLCULO PARA ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE REDUCCIÓN DE SONDA.....	47
7.10	ESTIMACIÓN DE PERFILES A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS	49
8	RESULTADOS.....	50
8.1	MEDICIÓN DE PERFILES DE PLAYA	50
8.2	EVOLUCIÓN ANUAL DEL PERFIL TRANSVERSAL DE PLAYA	57
8.3	CÁLCULO DEL ÁREA TOTAL DE ARENA.....	61
8.3.1	<i>ANÁLISIS DE LA SERIE DE TIEMPO</i>	<i>68</i>
8.4	SEDIMENTOLOGÍA DE LA PLAYA	70
8.4.1	<i>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....</i>	<i>70</i>
8.4.2	<i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....</i>	<i>74</i>
8.4.3	<i>ANÁLISIS MINERALÓGICO</i>	<i>75</i>
8.5	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS NOTABLES Y SU RELACIÓN CON LOS PERFILES DE PLAYA MEDIDOS.....	80
8.6	CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS Y DIRECTAS.....	82
8.6.1	<i>ERRORES TÍPICOS DE LA SIMULACIÓN.....</i>	<i>85</i>
8.6.2	<i>SIMULACIÓN DE PUNTOS NOTABLES PARA FECHAS ANTERIORES</i>	<i>86</i>
8.7	CÁLCULO DE NIVEL DE ARENA A PARTIR DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES INDIRECTAS.....	87
8.7.1	<i>CORROBORACIÓN DEL MÉTODO</i>	<i>87</i>
8.7.2	<i>RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES EN CAMPAÑAS REALIZADAS IN SITU.</i>	<i>89</i>
8.7.3	<i>RECREACIÓN DE PERFILES ANTIGUOS A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS.....</i>	<i>92</i>
8.8	INSTRUCCIONES DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA.....	99
9	CONCLUSIÓN	101
10	RECOMENDACIONES	103
11	REFERENCIAS.....	104
11.1	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
11.2	REFERENCIAS ELECTRÓNICAS	105
12	ANEXO 1: ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO	106
13	ANEXO 2: ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE MEDICIONES.....	112

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE IRIBARREN PARA TIPOS DE ROTURA.....	10
TABLA 2: PRINCIPALES HITOS EN EL DESARROLLO URBANO DEL BALNEARIO DE REÑACA.	19
TABLA 3: CAUDALES MEDIOS MENSUALES ESTERO MARGA MARGA EN DESEMBOCADURA [M3/S].	24
TABLA 4: PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN CUENCA DE REÑACA.	25
TABLA 5: IMÁGENES Y REFERENCIAS DE PERFILES SELECCIONADOS.	29
TABLA 6: CAMPAÑAS DE MEDICIÓN REALIZADAS.	33
TABLA 7: ANÁLISIS CRUZADO PARA ESTUDIO DE CALIDAD DE LOS DATOS.....	46
TABLA 8: CALIDAD DE LOS PUNTOS NOTABLES PARA CADA PERFIL DE PLAYA.	47
TABLA 9: RESULTADOS DE GRANULOMETRÍA EN ESTEROS.	74
TABLA 10: RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	75
TABLA 11: UBICACIÓN DE PUNTOS NOTABLES REPRESENTATIVOS.	80
TABLA 12: MATRIZ DE MEDICIONES EN FOTO E IN-SITU DE PUNTOS NOTABLES	83
TABLA 13: RESULTADOS DE CORRELACIÓN Y AJUSTE DEL MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	84
TABLA 14: TIPOS DE ERRORES UTILIZADOS PARA VALIDAR PRECISIÓN DEL MODELO DE AJUSTE. ..	85
TABLA 15: ERRORES ESTADÍSTICOS DE LOS PUNTOS NOTABLES.....	86
TABLA 16: TIPOS DE AJUSTES DE PERFILES A PARTIR DE MEDICIONES INDIRECTAS.	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE PLAYA EL ENCANTO.	5
FIGURA 2: CONDICIONES EXTREMAS ESTACIONALES DE LA PLAYA EL ENCANTO.	6
FIGURA 3: PRINCIPALES APORTES SEDIMENTARIOS CERCANOS A PLAYA EL ENCANTO.	7
FIGURA 4: CARACTERÍSTICAS DE UNA ONDA.....	8
FIGURA 5: CLASIFICACIÓN DE LAS ONDAS.	9
FIGURA 6: COMPORTAMIENTO DE UNA ONDA SEGÚN SU PROFUNDIDAD RELATIVA.	9
FIGURA 7: COMPOSICIÓN DEL PERFIL TRANSVERSAL DE PLAYA.	11
FIGURA 8: ESTRUCTURA DE UNA CORRIENTE DE RETORNO.	13
FIGURA 9: CORRIENTES ASOCIADAS A ROTURA EN LA COSTA.	14
FIGURA 10: ESCALAS ESPACIALES TÍPICAS DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN PLAYAS.	15
FIGURA 11: ESCALAS TEMPORALES TÍPICAS DE LOS CAMBIOS MORFOLÓGICOS EN PLAYAS.....	15
FIGURA 12: TIPOS DE MOVIMIENTOS DE PARTÍCULAS.	16
FIGURA 13: TASA Y DIRECCIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS.....	17
FIGURA 14: CAMBIO ANUAL EN EL PERFIL DE PLAYA.....	18
FIGURA 15: CIRCULACIÓN DE CORRIENTES EN PLEAMAR.....	21
FIGURA 16: CIRCULACIÓN DE CORRIENTES EN BAJAMAR.....	22
FIGURA 17: CONCESIONES MARÍTIMAS CERCANAS A PLAYA EL ENCANTO.....	22
FIGURA 18: PRINCIPALES CUENCAS COSTERAS DE LA V REGIÓN.	23
FIGURA 19: BATIMETRÍA EXISTENTE EN LA ZONA DE ESTUDIO.	26
FIGURA 20: ESQUEMA METODOLÓGICO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES DE PLAYA.....	27
FIGURA 21: VISTA EN PLANTA Y LATERAL DE UBICACIÓN DE PERFILES Y SUS ÁREAS REPRESENTATIVAS.	28
FIGURA 22: ZONIFICACIÓN DE ÁREA DE MUESTREO Y PERFILES CARACTERÍSTICOS.....	31
FIGURA 23: TÉCNICA DE EMERY PARA MEDICIÓN DE PERFILES DE PLAYA.	32
FIGURA 24: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE ARENA DE PLAYA EL ENCANTO.	34
FIGURA 25: LUGARES DE MUESTREO EN ESTEROS.	34
FIGURA 26: PROCESO DE TAMIZAJE.....	35
FIGURA 27: ZONA DE MUESTREO DE SEDIMENTOS- CAMPAÑA 2009.....	36
FIGURA 28: CLASIFICACIÓN DE GRANOS SEGÚN LA AMERICAN GEOPHYSICAL UNION.	36
FIGURA 29: ESQUEMA GENÉRICO DE UNA CURVA GRANULOMÉTRICA.	37
FIGURA 30: PARÁMETROS ESTADÍSTICOS, FORMULAS Y LÍMITES UTILIZADOS.	38
FIGURA 31: TIPOS DE SIMETRÍA DE UNA DISTRIBUCIÓN.	39
FIGURA 32: TIPOS DE CURTOSIS SEGÚN GRADO DE CONCENTRACIÓN DE VALORES.....	39
FIGURA 33: LUPA BINOCULAR E IDENTIFICACIÓN DE MINERALES DE UNA MUESTRA.....	40
FIGURA 34: ESCALA DE DUREZA DE MOHS.....	40
FIGURA 35: CLASIFICACIÓN SEGÚN PORCENTAJE DE PRESENCIA DE MINERALES	41
FIGURA 36: GRÁFICO DE ESFERICIDAD DE GRANOS.	42
FIGURA 37: UBICACIÓN SUR DEL PUNTO DE CAPTURA FOTOGRÁFICA.	42
FIGURA 38: PUNTO DE CAPTURA Y ENCUADRE DE FOTO.....	43
FIGURA 39: PRIMERA SELECCIÓN DE PUNTOS NOTABLES DE LA PLAYA.....	43
FIGURA 40: SELECCIÓN FINAL DE PUNTOS NOTABLES.	44
FIGURA 41: ENCUADRE DE FOTOGRAFÍAS Y MEDICIÓN DE ALTURA DE NIVEL DE ARENA.....	45
FIGURA 42: METODOLOGÍA PROPUESTA PARA CÁLCULO DE NRS.	48
FIGURA 43: EJEMPLO DE BITÁCORA DE LEVANTAMIENTO DE PERFILES.	50
FIGURA 44: MEDICIONES DE PERFIL 1 Y SU UBICACIÓN.	51
FIGURA 45: MEDICIONES DE PERFIL 2 Y SU UBICACIÓN.	52
FIGURA 46: MEDICIONES DE PERFIL 3 Y SU UBICACIÓN.	53

FIGURA 47: MEDICIONES DE PERFIL 4 Y SU UBICACIÓN.	54
FIGURA 48: MEDICIONES DE PERFIL 5 Y SU UBICACIÓN.	55
FIGURA 49: CAMBIOS EN PERFIL 4 POR INCIDENCIA DE OLEAJE ENERGÉTICO.	60
FIGURA 50: COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SEDIMENTOS.	72
FIGURA 51: PRINCIPALES MINERALES ENCONTRADOS.	76
FIGURA 52: IDENTIFICACIÓN DE MINERALES EN LA MUESTRA.	77
FIGURA 53: RESULTADOS DEL ANÁLISIS MINERALÓGICO.	79
FIGURA 54: VISTA EN PLANTA DE LA UBICACIÓN DE PUNTOS NOTABLES.	80
FIGURA 55: ESQUEMA DE ESTIMACIÓN DE COTAS DE PUNTOS NOTABLES.	82
FIGURA 56: MATRIZ CON PUNTOS NOTABLES TRANSFORMADOS DE FOTOGRAFÍA A IN-SITU.	87
FIGURA 57: SUPERPOSICIÓN DE PERFILES DE PLAYA IN SITU CON PUNTO NOTABLES A PARTIR DE REGRESIÓN.	89
FIGURA 58: RECONSTRUCCIÓN DE PROCESO EROSIVO.	92
FIGURA 59: RECONSTRUCCIÓN DE PERFILES ASIMÉTRICOS.	93
FIGURA 60: RECONSTRUCCIÓN DE MÁXIMA EROSIÓN.	94
FIGURA 61: DIFERENCIAS EN CONDICIONES DE PLAYA.	98

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1: PARÁMETRO DE IRIBARREN.	10
ECUACIÓN 2: INTERPOLACIÓN EN BASE LOGARÍTMICA.	37
ECUACIÓN 3: COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD.	38
ECUACIÓN 4: COEFICIENTE DE CURVATURA.	38
ECUACIÓN 5: COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON.	83
ECUACIÓN 6: MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	83

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: REGISTRO DE LA PENDIENTES DE LOS CINCO PERFILES DE PLAYA Y SU MEDIANA.	56
GRÁFICO 2: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 1.....	57
GRÁFICO 3: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 2.....	57
GRÁFICO 4: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 3.....	58
GRÁFICO 5: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 4.....	58
GRÁFICO 6: EVOLUCIÓN ANUAL DE PERFIL 5.....	58
GRÁFICO 7: ÁREA TOTAL DE ARENA PARA LOS CINCO PERFILES DE PLAYA.....	61
GRÁFICO 8: ÁREA TOTAL NETA DE ARENA PARA LOS CINCO PERFILES.	62
GRÁFICO 9: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 1.	63
GRÁFICO 10: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 2.....	64
GRÁFICO 11: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 3.....	65
GRÁFICO 12: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 4.....	66
GRÁFICO 13: VARIACIÓN TOTAL DE ARENA PERFIL 5.....	67
GRÁFICO 14: ANÁLISIS ESPACIAL Y TEMPORAL DE LA VARIACIÓN DEL ÁREA TOTAL DE ARENA.	69
GRÁFICO 15: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 1.	70
GRÁFICO 16: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 3.	71
GRÁFICO 17: CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO PERFIL 5.	71
GRÁFICO 18: CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MUESTRAS DE ESTEROS.	73
GRÁFICO 19: COTAS DE ELEVACIÓN DE PUNTOS NOTABLES.	82
GRÁFICO 20: CORRELACIÓN ENTRE MEDICIONES PARA PUNTOS NOTABLES EN MURO P1 Y P4. ...	84
GRÁFICO 21: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008-PERFIL 1.	95
GRÁFICO 22: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008-PERFIL 2.	95
GRÁFICO 23: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 3.....	96
GRÁFICO 24: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 4.....	96
GRÁFICO 25: VARIACIÓN DE ARENA TOTAL AÑO 2008- PERFIL 5.....	97

RESUMEN

El tramo costero en estudio perteneciente a la ciudad de Viña del Mar, corresponde a la playa El Encanto ubicada al norte del balneario de Reñaca. Esta playa representa un sector muy particular en el litoral central, ya que a diferencia de muchas otras, los cambios morfológicos experimentados por la playa presentan marcadas diferencias en el transcurso anual, que además de ser observables a simple vista, permiten entrever la gran variabilidad en el transporte de sedimento que ocurre en el sector. La identificación de la evolución morfológica de la playa referida a su perfil transversal, se logra a través de la medición de perfiles de playa que permite distinguir la evolución en cada sector estudiado, conociendo sus ciclos de acreción y erosión. Junto a la medición periódica de perfiles, se realiza un seguimiento fotográfico de la playa manteniendo el mismo encuadre que poseen fotografías recopiladas de años anteriores. A través de captura fotográfica mensual se realiza la identificación de ciertos elementos representativos de la playa como por ejemplo: roqueríos prominentes, muros, escalas, etc, que actúan como puntos de control para registrar la variación de nivel de arena en la playa.

Se propone establecer una metodología para la reconstrucción de perfiles de playa mediante la correlación de mediciones directas realizadas a los elementos representativos de la playa, con mediciones indirectas realizadas a los mismos elementos pero en las fotografías. A través de dicha correlación y un ajuste matemático es posible calcular valores de los elementos representativos que son utilizados para reconstruir perfiles de playa a partir de mediciones indirectas obtenidas de fotografías en fechas pasadas.

Tras la aplicación del método planteado se obtiene que la correlación se ajusta eficazmente en aquellos elementos representativos que se encuentran cercanos al punto de captura fotográfica, al incurrir en menores errores de estimación. Sin embargo, aquellos puntos representativos que se encuentran lejanos, es necesario realizar correcciones para un correcto ajuste y obtener así una óptima reconstrucción de perfiles. Dicha información obtenida a partir de mediciones indirectas permite entre otras cosas cuantificar el área de arena movilizada en los períodos de acreción y erosión, y mediante la comparación simultánea con registros de oleaje es posible establecer como un evento de marejadas modifica los perfiles de playa para una fecha determinada.