



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de

Ingeniero Civil Oceánico

“Determinación del efecto que tiene la existencia (o no existencia) de la barra litoral del río Aconcagua”

Pia Monreal Donoso

Diciembre 2014.

**Determinación del efecto que tiene la existencia (o no existencia) de la flecha litoral del río
Aconcagua**

Pia Monreal Donoso

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Matías Quezada Labra

Profesor guía

Hernán Vergara Cortés

Docente

Mauricio Molina Pereira

Docente

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.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento

a quienes me apoyaron durante todo este proceso.

En especial a mi familia: mis padres Carlos y Sonia, mis hermanos Elizabeth y Carlos y mis maravillosos sobrinos Grace, Rodrigo, Macarena, Carlitos, EvaLuna, Mathilda y Máximo. A quienes espero este logro los haga sentir orgullosos de mí.

Además a mis grandes amigos quienes siempre están cuando se les necesita y cuando no también; Cindy, Maritza, Celeste, Felipe, Maca, Cote, Mauro, Carlita, Chufly y Pancho.

A Matías que no solo ha sido un gran profesor guía también ha sido un muy buen amigo en quien encontré apoyo y conocimientos que me ayudaron a lograr mis objetivos.

Así también me gustaría agradecer al Profesor Hernán Vergara quien no solo me facilitó información y datos de la zona, si no que estuvo atento a cualquier duda que tuviera para ayudar y aportar.

Determinación del efecto que tiene la existencia (o no existencia) de la barra litoral del río Aconcagua

Dedicado a Elmira de las Mercedes Núñez Donoso

Quien nunca dudó.

ÍNDICE

1	Introducción	1
2	Objetivos del estudio	2
2.1	Motivación.....	2
2.2	Objetivo general	3
2.3	Objetivos específicos	3
3	Marco teórico	4
3.1	Definición y clasificación de estuarios	4
3.1.1	Definición	5
3.1.2	Clasificación.....	6
3.2	Geomorfología de estuarios	16
3.2.1	Formación de estuarios.....	16
3.2.2	Factores que influyen en la evolución de los estuarios.....	17
3.2.3	Sedimentación	17
3.3	Hidrodinámica de estuarios	17
3.4	Oleaje	20
3.4.1	Características principales.	21
3.4.2	Clasificación.....	22
3.4.3	Propagación de oleaje.	25
3.5	Transporte de sedimento	26
3.5.1	Transporte de sedimentos en la costa.....	28
3.5.2	Transporte de sedimento en ríos.....	30
3.5.3	Transporte de sedimentos en estuarios.	31

3.6	Barra litoral.....	32
4	Metodología	39
4.1	Caracterización de la zona de estudio.....	39
4.1.1	Descripción del caudal del Río Aconcagua	41
4.1.2	Descripción del Oleaje	42
4.1.3	Caracterización de las Mareas	46
4.1.4	Caracterización de los Sedimentos superficiales	48
4.1.5	Caracterización del Viento.	53
4.1.6	Caracterización de Corrientes	55
4.2	Análisis histórico de la línea de costa.....	56
4.2.1	Cambio histórico	58
4.2.2	Análisis estacional.....	58
4.3	Simulación numérica - Modelo FESWMS.....	59
4.3.1	Generalidades del modelo FESWMS	59
4.3.2	Calibración del modelo	61
4.3.3	Escenarios simulados	63
5	Resultados.....	68
5.1	Caracterización de la zona de estudio.....	68
5.1.1	Descripción de la cuenca del río Aconcagua.....	68
5.1.2	Descripción del caudal del río Aconcagua.....	70
5.1.3	Descripción del estuario del río Aconcagua.....	73
5.1.4	Caracterización del Oleaje	75
5.1.5	Caracterización de las mareas	80
5.1.6	Caracterización de Sedimentos.....	83
5.1.7	Caracterización de Corrientes.....	95

5.1.8	Caracterización del Viento	100
5.2	Análisis histórico de la línea de costa.....	104
5.2.1	Cambio histórico	104
5.2.2	Análisis estacional.....	122
5.3	Modelación numérica.	131
5.3.1	Calibración del modelo.....	131
5.3.2	Escenarios simulados	132
6	Conclusiones y recomendaciones.....	150
6.1	Caracterización de la zona de estudio.....	150
6.2	Análisis de la evolución de la línea de costa.	153
6.3	Simulación numérica. Modelo feswms.	154
6.3.1	Caracterización hidrodinámica del estuario	154
6.3.2	Transporte de sedimento con barra litoral.	154
6.4	Conclusiones Generales	155
6.5	recomendaciones.....	157
7	Referencias.....	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1-1: Rangos de marea	12
Tabla 3.2-1: Factores de influyen en la formación de estuarios	16
Tabla 3.4-1: Clasificación de las ondas según su periodo	24
Tabla 4.1-1: Datos de terrenos disponibles o generados para la caracterización de la zona de estudio.	40
Tabla 4.1-2: Coordenadas estación Puente Colmo. Sistema coordenadas Geográfico y UTM (WGS84) HUSO 19	41
Tabla 4.1-3: Casos simulados para todas grillas numéricas empleadas	44
Tabla 4.1-4: Grillas de propagación.....	44
Tabla 4.1-5: Fechas campañas II, III, IV. Sedimentos	51
Tabla 4.1-6: Ubicación de las muestras, campañas II, III, IV. Sedimentos.....	52
Tabla 4.1-7: Datos campaña de muestreo corrientes.	55
Tabla 4.1-8: Coordenadas de las muestras campañas I; II, III. Corrientes.....	55
Tabla 4.2-1: Set de fotografías aéreas.	58
Tabla 4.3-1: Rangos de validez de las ecuaciones de transporte de sedimentos utilizadas en el modelo FESWMS.	60
Tabla 4.3-2: Valores mínimo, promedio y máximo de caudales en [m ³ /s].....	63
Tabla 4.3-3: Casos simulados para el transporte de sedimentos.....	65
Tabla 4.3-4: Datos de configuración modelo FESWMS.....	66
Tabla 5.1-1: Uso del suelo de la cuenca del río Aconcagua.	70
Tabla 5.1-2: Valores estadísticos del caudal de las aguas del Río Aconcagua. Estación Puente Colmo.	71
Tabla 5.1-3: Valores estadísticos del caudal mensual de las aguas del río Aconcagua. Estación Puente Colmo	72
Tabla 5.1-4: Valores estadísticos estacionales del caudal de las aguas del Río Aconcagua. Estación Puente Colmo.	73
Tabla 5.1-5: Características estuario río Aconcagua.	75
Tabla 5.1-6: Tabla de Incidencia de oleaje Tp ^v /s DPK.....	77
Tabla 5.1-7: Tabla de Incidencia de oleaje Hmo ^v /s DPK.....	78
Tabla 5.1-8: Tabla de Incidencia de oleaje Hmo ^v / _s Tp	79
Tabla 5.1-9: Planos mareales respecto del cero instrumental.	82

Tabla 5.1-10: Parámetros estadísticos. Campaña I, Ante – Playa	87
Tabla 5.1-11: Parámetros estadísticos. Campaña I, Zona de rompiente	88
Tabla 5.1-12: Parámetros estadísticos. Campaña II	91
Tabla 5.1-13: Parámetros estadísticos. Campaña III	93
Tabla 5.1-14: Parámetros estadísticos. Campaña 4	95
Tabla 5.1-15: Datos correntómetro campaña I. 8 de Septiembre 2002	96
Tabla 5.1-16: Datos correntómetro campaña I, 11 de Septiembre 2002	97
Tabla 5.1-17: Datos correntómetro campaña II. 17 de Julio, 2003	98
Tabla 5.1-18: Datos correntómetro campaña 18 de Abril. 2004	99
Tabla 5.1-19: Tabla de incidencia de vientos	100
Tabla 5.1-20: Magnitudes promedio y máximas globales y por dirección de procedencia de los vientos	103
Tabla 5.2-1: Fotografías aéreas. Análisis verano	123
Tabla 5.2-2: Fotografías aéreas. Análisis otoño.	126
Tabla 5.2-3: Fotografías aéreas. Análisis invierno	127
Tabla 5.2-4: Fotografías aéreas. Análisis primavera	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.3-1: Principales agentes que actúan en un estuario.	4
Figura 3.1-1: Elementos de un estuario (según Perillo, 1995)	6
Figura 3.1-2: Diagrama esquemático de un estuario tipo planicies costeras.....	7
Figura 3.1-3: Diagrama esquemático de un estuario tipo Fiordos.....	7
Figura 3.1-4: Clasificación de estuarios según su estratificación. Cuña salina.....	8
Figura 3.1-5: Clasificación de estuarios según su estratificación. Mezcla parcial.....	9
Figura 3.1-6: Clasificación de estuarios según su estratificación. Verticalmente homogéneo. .	9
Figura 3.1-7: Clasificación de estuarios según su estratificación. Seccionalmente homogéneo.	10
Figura 3.1-8: Diagrama de estratificación de Hansen y Rattray	11
Figura 3.1-9: Estuario micromareal.	12
Figura 3.1-10: Estuario mesomareal.	13
Figura 3.1-11: Estuario mesomareal.	13
Figura 3.1-12: Clasificación estuarios primarios según Perillo	15
Figura 3.1-13: Clasificación estuarios secundarios según Perillo	16
Figura 3.3-1: Esquema de estuario fuertemente estratificado.....	19
Figura 3.3-2: Esquema de estuario parcialmente mezclado.	20
Figura 3.3-3: Esquema de estuario bien mezclado.....	20
Figura 3.4-1: Características del oleaje	21
Figura 3.4-2: Tipos de Oleaje	22
Figura 3.4-3: Clasificación de las ondas según su periodo	24
Figura 3.5-1: Inicio del movimiento o suspensión de una partícula para distintos diámetros equivalentes.....	27
Figura 3.5-2: Tipos de transporte en un ambiente litoral.....	28
Figura 3.5-3: Perfiles de playa de acreción y tormentas.	29
Figura 3.6-1: Características de la barra litoral de Hurst Castle en Hampshire, Reino Unido.	33
Figura 3.6-2: Barra litoral Hurst Castle. Hampshire	33
Figura 3.6-3: Ubicación barra litoral Río Guadiana, España.....	34
Figura 3.6-4: Evolución histórica. Barra litoral río Guadiana	36
Figura 3.6-5: Evolución histórica. Bahía Popponeset – Massachusetts. EE.UU. (1)	37

Figura 3.6-6: Evolución histórica. Bahía Popponeset – Massachusetts. EE.UU (2).	38
Figura 4.1-1: Diagrama de flujo de la metodología aplicada.	39
Figura 4.1-2: Ubicación de los datos utilizados para la caracterización de la zona de estudio.	41
Figura 4.1-3: Estación Puente Colmo	42
Figura 4.1-4: Grillas de propagación	45
Figura 4.1-5: Ubicación de punto de extracción, datos de marea.	46
Figura 4.1-6: Zona de muestreo, campaña I.....	50
Figura 4.1-7: Triángulo textural de Shepard (1954)	51
Figura 4.1-8: Ubicación de las muestras campañas II, III y IV.	52
Figura 4.1-9: Ubicación de las transectas. Campañas II, III y IV.....	53
Figura 4.1-10: Ubicación del sitio seleccionado.....	54
Figura 4.1-11: Ubicación de las muestras campañas I; II, III. Corrientes	56
Figura 4.2-1: Escalas temporales de los cambio de morfológicos en playas.	57
Figura 4.3-1: Ubicación del instrumento de medición utilizada en la calibración del modelo.	61
Figura 4.3-2: Dominio numérico empleado para la calibración del modelo FESWMS.....	62
Figura 4.3-3: Malla modelo FESWMS para el transporte de sedimento.....	64
Figura 4.3-4: Puntos de extracción de datos modelo FESWMS.	64
Figura 4.3-5: Primera configuración de la línea de costa. Barra litoral en su máxima longitud.	66
Figura 4.3-6: Segunda configuración de la línea de costa.	66
Figura 4.3-7: Tercera configuración de la línea de costa.	67
Figura 4.3-8: Cuarta configuración de la línea de costa Sin barra litoral.....	67
Figura 5.1-1: Ubicación de la zona de estudio.....	68
Figura 5.1-2: Cuenca del río Aconcagua.	69
Figura 5.1-3: Estuario Río Aconcagua.....	74
Figura 5.1-4: Rosa de oleaje de periodos peak	78
Figura 5.1-5: Rosa de oleaje Alturas de olas	78
Figura 5.1-6: a) pronóstico de la marea [m] del período; b) registro del sensor de presión [m]; y c) residuales [m].	81
Figura 5.1-7: Planos de referencia de la marea con respecto del cero instrumental.	82
Figura 5.1-8: Clasificación de sedimentos. Estuario.	84
Figura 5.1-9: Correntometría campaña I. 8 de septiembre, 2002.....	96

Figura 5.1-10: Correntimetría campaña I. 11 de septiembre, 2002.....	97
Figura 5.1-11: Correntimetría campaña II. 17 de Julio, 2003.....	98
Figura 5.1-12: Correntimetría campaña 18 de Abril, 2004.....	99
Figura 5.1-13: Rosa de vientos. Escala de Beaufort.....	102
Figura 5.2-1: Estuario del río Aconcagua años 1977 - 1980.....	108
Figura 5.2-2: Estuario del río Aconcagua años 1980 – 1994.....	109
Figura 5.2-3: Estuario del río Aconcagua años 1994 – 1997.....	110
Figura 5.2-4: Estuario del río Aconcagua años 1997 – 2004.....	111
Figura 5.2-5: Estuario del río Aconcagua años 2004 - 2005.....	112
Figura 5.2-6: Estuario del río Aconcagua años 2005 - 2007.....	113
Figura 5.2-7: Estuario del río Aconcagua años 2007 - 2008.....	114
Figura 5.2-8: Estuario del río Aconcagua años 2008 - 2009.....	115
Figura 5.2-9: Estuario del río Aconcagua años 2009 - 2009.....	116
Figura 5.2-10: Estuario del río Aconcagua años 2009 - 2010.....	117
Figura 5.2-11: Estuario del río Aconcagua años 2010 - 2011.....	118
Figura 5.2-12: Estuario del río Aconcagua años 2011 - 2011.....	119
Figura 5.2-13: Cambio de la línea de costa desde 1977 al 2011.....	121
Figura 5.2-14: Cambio anual entre la fotografía base y las anuales.....	121
Figura 5.2-15: Cambio de la línea de costa. Valores estadísticos. Entre 1977 – 2011.....	122
Figura 5.2-16: Rosa de oleaje periodo peak y altura Hmo. Verano.....	124
Figura 5.2-17: Estuario del río Aconcagua. Verano.....	124
Figura 5.2-18: Rosa de oleaje periodo peak y altura Hmo. Otoño.....	126
Figura 5.2-19: Estuario del río Aconcagua. Otoño.....	126
Figura 5.2-20: Rosa de oleaje periodo peak y altura Hmo. Invierno.....	128
Figura 5.2-21: Estuario del río Aconcagua. Invierno.....	128
Figura 5.2-22: Rosa de oleaje periodo peak y altura Hmo. Primavera.....	130
Figura 5.2-23: Estuario del río Aconcagua. Primavera.....	130
Figura 5.3-1: Comparación de series de tiempo de las mareas medidas (línea color rojo) y las obtenidas de la simulación numérica (línea color azul).....	131
Figura 5.3-2: Datos de validación entre las mareas medidas y modeladas.....	132
Figura 5.3-3: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Enero según Ackers-White-Day (1983).....	136

Figura 5.3-4: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Enero según Ackers-White-Day (1983).....	137
Figura 5.3-5: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Febrero según Ackers-White-Day (1983).....	137
Figura 5.3-6: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Febrero según Ackers-White-Day (1983).....	138
Figura 5.3-7: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Marzo según Ackers-White-Day (1983).....	138
Figura 5.3-8: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Abril según Ackers-White-Day (1983).....	139
Figura 5.3-9: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Mayo según Ackers-White-Day (1983).....	139
Figura 5.3-10: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Junio según Ackers-White-Day (1983).....	140
Figura 5.3-11: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Junio según Ackers-White-Day (1983).....	140
Figura 5.3-12: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Julio según Ackers-White-Day (1983).....	141
Figura 5.3-13: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Julio según Ackers-White-Day (1983).....	141
Figura 5.3-14: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Agosto según Ackers-White-Day (1983).....	142
Figura 5.3-15: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Agosto según Ackers-White-Day (1983).....	142
Figura 5.3-16: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Septiembre según Ackers-White-Day (1983).....	143
Figura 5.3-17: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Septiembre según Ackers-White-Day (1983).....	143
Figura 5.3-18: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Octubre según Ackers-White-Day (1983).....	144
Figura 5.3-19: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Noviembre según Ackers-White-Day (1983).....	144

Figura 5.3-20: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Noviembre según Ackers-White-Day (1983)	145
Figura 5.3-21: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Sicigia para el caudal máximo de Diciembre según Ackers-White-Day (1983)	145
Figura 5.3-22: Transporte de sedimento en un ciclo de marea de Cuadratura para el caudal máximo de Diciembre según Ackers-White-Day (1983)	146
Figura 5.3-23: Transporte de sedimento. Primera configuración. Condición promedio de marea - caudal máximo.	147
Figura 5.3-24: Transporte de sedimento. Segunda configuración. Condición promedio de marea - caudal máximo.	147
Figura 5.3-25: Transporte de sedimento. Segunda configuración. Condición promedio de marea - caudal máximo.	148
Figura 5.3-26: Transporte de sedimento. Segunda configuración. Condición promedio de marea - caudal máximo.	148
Figura 6.5-1: Puntos de extracción de datos modelo FESWMS.	159

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1-1: Valores estadísticos del caudal anual de las aguas del río Aconcagua. Estación Puente Colmo.....	72
Gráfico 5.1-2: Valores estadísticos del caudal mensual de las aguas del río Aconcagua. Estación Puente Colmo.....	72
Gráfico 5.1-3: Valores estadísticos estacionales del caudal de las aguas del Río Aconcagua. Estación Puente Colmo.....	73
Gráfico 5.1-4: Funciones de transferencia de direcciones, punto de extracción.....	75
Gráfico 5.1-5: Funciones de transferencia de altura, punto de extracción.....	76
Gráfico 5.1-6: Histograma campaña I - Zona de ante playa.....	85
Gráfico 5.1-7: Histograma campaña I – Zona de Rompiente.....	86
Gráfico 5.1-8: Histograma. Campaña II.....	90
Gráfico 5.1-9: Histograma. Campaña 3.....	92
Gráfico 5.1-10: Histograma. Campaña 4.....	94
Gráfico 5.1-11: Histograma de frecuencia relativa de la procedencia de los vientos.....	101
Gráfico 5.1-12: Histograma de frecuencia relativa de la magnitud del viento.....	101
Gráfico 5.1-13: Variación de la magnitud promedio y máxima del viento por dirección de procedencia.....	103
Gráfico 5.1-14: Ciclo horario del viento.....	104
Gráfico 5.3-1: Resultados simulación numérica - Caudales máximos [m ³ /mes] – Condiciones de marea Sicigia y cuadratura.....	133
Gráfico 5.3-2: Resultados simulación numérica - Caudales mínimos [m ³ /mes] – Condiciones de marea Sicigia y cuadratura.....	134
Gráfico 5.3-3: Resultados simulación numérica - Caudales promedios [m ³ /mes] – Condiciones de marea Sicigia y cuadratura.....	134

RESUMEN

El comportamiento de la zona estuarial es complejo debido a la cantidad de agentes involucrados como las mareas y el oleaje los que interactúan con el río en la desembocadura de este, lo que genera gradientes de densidad que afectan la circulación y la capacidad de transporte de sedimento en el sistema.

El presente documento estudia el comportamiento de la barra litoral ubicada en la desembocadura del río Aconcagua, localizado en la comuna de Concón, Quinta Región – Chile, caracterizando la zona con datos de campo así como con el análisis de fotografías aéreas históricas del área, además de emplearon modelos numéricos que ayudan a explicar el comportamiento del mismo.

Los resultados indican que el río Aconcagua en regímenes de caudal mínimo y medio no tiene la capacidad para transportar el sedimento que se encuentra en el zona estuarial, en cambio para los caudales máximos registrados existe caudal sólido en la barra litoral ubicada en la zona de la desembocadura, sin embargo, se estima que los sedimentos solo se mueven en las cercanías de la playa ya que no se apreciaron áreas de acreción en la zona distal aledañas en el análisis histórico. Lo que implica que el sedimento del río no alimenta estas playas, lo que se confirma que el tamaño de sedimento encontrados en las playas, este es mayor al encontrado en el estuario y estudios realizados por otros autores.