



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**Impacto de la sequía en el aporte sedimentario de un
afluente y sus efectos en la evolución morfológica de una
playa del litoral central de Chile**

Manuel Andrés Gutiérrez Córdova

Diciembre 2021

IMPACTO DE LA SEQUÍA EN EL APORTE SEDIMENTARIO DE UN AFLUENTE
Y SUS EFECTOS EN LA EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE UNA PLAYA DEL
LITORAL CENTRAL DE CHILE.

Manuel Andrés Gutiérrez Córdova

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

MATÍAS QUEZADA LABRA
Profesor guía

MARIO CÁCERES
Revisor

MAURICIO MOLINA
Revisor

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

Ha sido un camino largo y, en ciertos tramos, me llevé más de un rasguño para llegar hasta donde estoy ahora. La verdad no ha sido fácil, y sé que para muchos también ha sido así. En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, en especial a mi madre Ivonne, mi apoyo incondicional, y a mi viejo por apañarme pese a no continuar por el camino que dejé en agosto del 2012.

Agradezco a mis amigos, amigas, compañeros y compañeras que han seguido este proyecto junto a mí, en especial a Simón Fuentes, Sebastián Villarreal, Daniela Triviños, Natalia Zunino, Alex Lara, Almendra Hermosilla, Giorgio Cossio, Alexis Lillo, y a otros tantos que me han regalado buenos momentos durante estos años y durante mi estadía universitaria.

Agradezco a los profesores de la carrera de Ingeniería Civil Oceánica e Ingeniería Civil de la Universidad de Valparaíso, al profesor Matías Quezada por su paciencia y por sus ganas de enseñar, cualidades que valoro y valoré durante el desarrollo de la presente memoria; al profesor Patricio Winckler por sus “temerosas” críticas constructivas que me ayudaron bastante durante mi estadía en Oceánica, por demostrar que es posible apasionarse por la ingeniería y por la docencia; al profesor Mauricio Reyes por los buenos momentos en Geotecnia y por darme la oportunidad de haber sido su ayudante de Hidráulica. También agradezco a la profesora Catalina Aguirre, a los profesores Felipe Casselli, Mario Herrera, Mauricio Molina; a los ex alumnos de Oceánica, José Ribba y Diego Becerra, quienes me han apoyado durante este proceso.

Finalmente, agradezco a DHI MIKE (DHI Group, 2021) por haberme dado la oportunidad de usar su programa para el desarrollo de la presente memoria.

Espero que este sea el inicio de un nuevo camino, con muchos desafíos y grandes lecciones por aprender, ya que al final, de eso se trata la vida...

*“La acción más pequeña vale más que la intención más grande”
Jiddu Khrisnamurthi.*

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1	Contexto.....	15
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo principal	17
1.2.2	Objetivos secundarios	17
2	MARCO TEÓRICO	18
2.1	Ciclo hidrológico	18
2.2	Caracterización de la geomorfología fluvial.....	19
2.2.1	Generalidades de un sistema fluvial idealizado	19
2.2.2	Definición de cuenca hidrográfica.....	21
2.2.3	Definición y clasificación de los ríos.....	22
2.2.4	Ciclo de vida de un río.....	22
2.2.5	Clasificación de los cauces o canales aluviales según su forma.....	23
2.2.6	Trabajo formativo de los cauces	24
2.2.7	Definición y caracterización de estuarios	25
2.3	Aspectos hidráulicos en canales aluviales	27
2.3.1	Velocidad de fricción sobre el fondo y relación de Keulegan	27
2.3.2	Aplicación del esfuerzo de Shields	28
2.4	Estimación del transporte de sedimentos hacia la costa.....	29
2.4.1	Mecánica del transporte de sedimentos en un cauce	29
2.4.2	Gasto sólido del fondo con partículas de tamaño uniforme.....	30
2.4.3	Gasto sólido de partículas en suspensión.....	33
2.4.4	Transporte de sedimentos litoral.....	34
2.5	Cambio climático y la sequía en la zona central de Chile.....	39
2.5.1	Fluctuaciones e interacciones atmosféricas en el medio	39
2.5.2	Efectos del cambio climático en el medio oceánico, asociados a la bahía de Valparaíso y Concón	41
2.5.3	Efectos del cambio climático en el río Aconcagua	44
3	METODOLOGÍA.....	47
3.1	Caracterización del sector de estudio	47
3.1.1	Ubicación.....	47
3.1.2	Disponibilidad de datos.....	48
3.1.3	Caracterización del medio oceánico (bahía de Concón)	49
3.1.4	Caracterización del medio fluvial (río Aconcagua)	51

3.2	Calibración y validación del modelo hidrodinámico	52
3.2.1	Configuración del modelo	52
3.2.2	Comparación de parámetros simulados y mediciones	54
3.3	Modelación numérica.....	55
3.3.1	Generalidades de la modelación en DHI MIKE 21/3	55
3.3.2	Generalidades del modelo en DHI MIKE 3 FM	56
3.3.3	Enfoques del modelo	56
3.3.4	Ecuaciones que gobiernan la simulación	57
3.4	Definición de escenarios.....	59
3.4.1	Metodología para el análisis de escenarios	60
4	RESULTADOS	61
4.1	Batimetría y grillas del modelo	61
4.2	Calibración y validación del modelo.....	62
4.2.1	Proceso de calibración	62
4.2.2	Proceso de validación.....	70
4.3	Simulación 2D en DHI MIKE 21	79
4.3.1	Presentación de escenarios modelados	79
4.3.2	Comparación de los escenarios modelados	111
5	DISCUSIÓN.....	121
5.1	Análisis de resultados.....	121
5.1.1	Comportamiento de los sedimentos desde el medio fluvial.....	121
5.1.2	Comportamiento litoral según el azimut de equilibrio	123
5.1.3	Comportamiento del transporte de sedimentos desde el medio oceánico.	124
5.1.4	Comportamiento de ambos medios en el balance sedimentológico.....	125
6	CONCLUSIÓN.....	127
7	REFERENCIAS	128
8	ANEXOS.....	131
8.1	Ecuación de NAVIER – STOKES (RANS)	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema explicativo del Ciclo Hidrológico, considerando un balance hídrico anual relativo (Hidrología Aplicada, Ven Te Chow, 1994).	19
Figura 2: Adaptación de esquema explicativo de las zonas que componen un sistema fluvial idealizado, visualizándose 3 zonas; zona de aguas arriba (C), zona de transferencia (B) y zona de aguas abajo (A). La dirección del arrastre de sedimentos está alineada en la dirección del flujo, es decir, desde C a A (Niño, 2005).	20
Figura 3: Caracterización de una Cuenca Hidrográfica como un Sistema (Ven Te Chow, 1996).	21
Figura 4: Procesos geomorfológicos que permiten explicar el Ciclo de Vida de un río (Marrero, 1980).	23
Figura 5: Caracterización de los cauces aluviales por su forma (Niño, 2005).	24
Figura 6: Adaptación de esquema explicativo que describe un caudal dominante (Q_1) y un caudal desbordante (Q_2) para un cierto periodo de tiempo (T) (Fuente: https://transportesedimentos.tripod.com/).	25
Figura 7: Esquema general que explica cada uno de los sectores o tramos que conforman un estuario típico (Ibañez et.al., 2009).	26
Figura 8: Mecanismos de transporte de sedimentos descritas en un medio líquido (Fuente: https://rodanasciencias.blogspot.com/).	29
Figura 9: Descripción del transporte longitudinal y transversal de sedimentos que se manifiesta en el medio oceánico, considerando la acción de un oleaje incidente (Curso Ingeniería de Costas. Quezada, 2020).	34
Figura 10: Esquema que describe el balance sedimentológico en la costa, considerando distintas fuentes o entradas (flechas negras) y salidas (flechas blancas) de sedimentos y que condicionan su transporte en el medio oceánico (De la Peña, 2007).	35
Figura 11: Esquema que describe el perfil de playa ante la acción de una tormenta (evento de clima extremo). El resultado es comparado con un perfil de playa en condiciones normales de oleaje (Fuente: https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/).	36
Figura 12: Índice de precipitación regional vs índice PDO (fases frías y cálidas), contextualizado para eventos de multi - inviernos en la zona central del país (Garreaud, et.al., 2019).	39
Figura 13: Esquema que describe una tendencia positiva del SAM, donde las áreas azules señalan las presiones que están por debajo del promedio y las áreas rojas lo contrario (Renwick y Thompson, 2006).	40
Figura 14: Esquema que proyecta un aumento progresivo del nivel del mar en las costas de Valparaíso hasta el año 2100, tomando en cuenta 21 modelos climatológicos globales (Winckler et.al. 2019).	42
Figura 15: Esquema que señala el número de eventos extremos anuales de oleaje, considerando estadísticas de oleaje entre el año 1958 hasta el 2015 frente a las costas de Valparaíso (Martínez, et.al., 2018).	43

Figura 16: Cambios morfodinámicos que presenta la Playa de Concón, basado en el estudio del perfil de playa entre 1980 hasta 2018 (Winckler et.al., 2019).....	44
Figura 17: Curva de tendencia para los caudales medios anuales de la cuenca del río Aconcagua, donde los rombos muestran las estaciones con déficit y los asteriscos las estaciones que presentan un leve superávit (Martínez, et.al., 2012).....	46
Figura 18: Diagrama de flujo en el que se describen los elementos que forman parte de la metodología (Elaboración Propia).....	47
Figura 19: Vista aérea del río Aconcagua, desde el Sector 3 hasta su desembocadura en la Bahía de Concón (Elaboración Propia, Google Earth, 2021).....	48
Figura 20: Información levantada para el proyecto CNE, por la empresa ECOTECNOS S.A. (SEIA, 2015).	50
Figura 21: Caracterización textural de los sedimentos presentes en el estuario del río Aconcagua (Martínez y Cortez, 2007).....	51
Figura 22: Punto ADCP (t_1) seleccionado en la bahía de Concón (en UTM) para obtener las funciones de transferencia del oleaje hacia aguas someras (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).	53
Figura 23: Componentes del Ciclo Morfológico (Elaboración Propia según DHI Webinar, 2019).	55
Figura 24: Diagrama de flujo que indica las etapas para la modelación hidrodinámica y el transporte de sedimentos (Elaboración Propia según Niemann et.al., 2006).	57
Figura 25: Descripción batimétrica del sector de estudio (Elaboración Propia a través de MIKE 21).....	61
Figura 26: Comparación de las mareas observadas y simuladas para una serie de tiempo definida en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).	63
Figura 27: Comparación percentil entre las mareas observadas y simuladas para una serie de tiempo definida en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).	64
Figura 28: Diagrama de Taylor para la comparación entre mareas observadas y simuladas en otoño 2015 (Elaboración Propia).....	64
Figura 29: Comparación del oleaje observado y simulado para una serie de tiempo definida en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).	65
Figura 30: Comparación percentil para un oleaje observado y simulado, considerando una serie de tiempo definida en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).	66
Figura 31: Diagrama de Taylor para la comparación entre el oleaje observado y simulado en otoño 2015 (Elaboración Propia).....	67
Figura 32: Comparación de velocidades entre las corrientes superficiales observadas y simuladas en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).....	68
Figura 33: Comparación percentil entre las corrientes superficiales observadas y simuladas en otoño 2015 (Elaboración Propia, MATLAB).....	69
Figura 34: Diagrama de Taylor para la comparación entre las corrientes superficiales observadas y simuladas en otoño 2015 (Elaboración Propia).....	70
Figura 35: Comparación de las mareas observadas y simuladas para una serie de tiempo definida en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).	71

Figura 36: Comparación percentil entre las mareas observadas y simuladas en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).	72
Figura 37: Diagrama de Taylor para la comparación entre mareas observadas y simuladas en verano 2016 (Elaboración Propia).....	72
Figura 38: Comparación del oleaje observado y simulado para una serie de tiempo definida en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).	73
Figura 39: Comparación percentil para un oleaje observado y simulado en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).	74
Figura 40: Diagrama de Taylor para la comparación entre un oleaje observado y simulado en verano 2016 (Elaboración Propia).....	75
Figura 41: Comparación de velocidades entre las corrientes superficiales observadas y simuladas en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).....	76
Figura 42: Comparación percentil para una corriente superficial observada y simulada en verano 2016 (Elaboración Propia, MATLAB).	77
Figura 43: Diagrama de Taylor para la comparación entre la corriente superficial observada y simulada en verano 2016 (Elaboración Propia).	78
Figura 44: Vista aérea del sector de estudio, señalando los 3 puntos elegidos en la bahía de Concón (Elaboración Propia, Google Earth, 2021).....	80
Figura 45: Vista aérea del sector de estudio, señalando los 2 puntos elegidos dentro del estuario del río Aconcagua (Elaboración Propia, Google Earth, 2021).....	83
Figura 46: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de verano, año 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).	84
Figura 47: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de invierno, año 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).	85
Figura 48: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “sin sequía” para un día de verano, 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).	86
Figura 49: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “sin sequía” para un día de invierno, 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).	87
Figura 50: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “sin sequía” para un día de verano, 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).	87
Figura 51: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “sin sequía” para un día de invierno, 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).	88
Figura 52: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 1 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	89

Figura 53: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 2 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	91
Figura 54: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de verano, año 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).....	94
Figura 55: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de invierno, año 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).....	94
Figura 56: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “de sequía” para un día de verano, 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	95
Figura 57: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “de sequía” para un día de invierno, 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	96
Figura 58: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “de sequía” para un día de verano, 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	96
Figura 59: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “de sequía” para un día de invierno, 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	97
Figura 60: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 1 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	98
Figura 61: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 2 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	100
Figura 62: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de verano, año 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).....	103
Figura 63: Intensidad de las corrientes desarrolladas en el estuario del río Aconcagua (Sección 2) en un día de invierno, año 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo FM).....	104
Figura 64: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “proyectada de sequía” para un día de verano, 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	105
Figura 65: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 1, en condición “proyectada de sequía” para un día de invierno, 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	105
Figura 66: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “proyectada de sequía” para un día de verano, 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	106

Figura 67: Transporte de sedimentos (magnitud total) desde el medio fluvial hacia la costa con Forma 2, en condición “proyectada de sequía” para un día de invierno, 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21 módulo ST).....	106
Figura 68: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 1 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	108
Figura 69: Comparación de los promedios mensuales transportados al Punto río 2 obtenidos para la Forma 1 y 2, en condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia, DHI MIKE 21).....	110
Figura 70: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (CERC) con distintos valores de azimut para el Punto 1 (Elaboración Propia).....	112
Figura 71: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (Queens) con distintos valores de azimut para el Punto 1 (Elaboración Propia).....	112
Figura 72: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (CERC) con distintos valores de azimut para el Punto 2 (Elaboración Propia).....	114
Figura 73: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (Queens) con distintos valores de azimut para el Punto 2 (Elaboración Propia).....	114
Figura 74: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (CERC) con distintos valores de azimut para el Punto 3 (Elaboración Propia).....	116
Figura 75: Comparación anual entre los años 1988, 2015 y 2030, relacionando los resultados del TLS (Queens) con distintos valores de azimut para el Punto 3 (Elaboración Propia).....	116
Figura 76: Comparación de los promedios mensuales de Qst [m ³ /yr/m] para los años 1988, 2015 y 2030, obtenidos mediante la Forma 1 para el Punto río 1 (Elaboración Propia).....	118
Figura 77: Comparación de los promedios mensuales de Qst [m ³ /yr/m] para los años 1988, 2015 y 2030, obtenidos mediante la Forma 2 para el Punto río 1 (Elaboración Propia).....	118
Figura 78: Comparación de los promedios mensuales de Qst [m ³ /yr/m] para los años 1988, 2015 y 2030, obtenidos mediante la Forma 1 para el Punto río 2 (Elaboración Propia).....	119
Figura 79: Comparación de los promedios mensuales de Qst [m ³ /yr/m] para los años 1988, 2015 y 2030, obtenidos mediante la Forma 2 para el Punto río 2 (Elaboración Propia).....	119
Figura 80: Relación entre el caudal medio anual y el transporte medio anual para el Punto río 1, aplicando la Forma 1 (Elaboración Propia).....	122

Figura 81: Relación entre el caudal medio anual y el transporte medio anual para el Punto río 1, aplicando la Forma 2 (Elaboración Propia).	122
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Información disponible para la caracterización del sector de estudio (Elaboración Propia).	49
Tabla 2: Muestreo y clasificación de los sedimentos por tamaños (Elaboración Propia según base de datos Proyecto CNE, SEIA 2015).	50
Tabla 3: Información sobre las mediciones en terreno efectuadas para el proyecto “Central Nueva Era” (Adaptación según estudios de la empresa ECOTECNOS S.A., 2015)..	54
Tabla 4: Información a utilizar para la validación del modelo, considerando registro de datos del instrumento ADCP (Adaptación según estudios de la empresa ECOTECNOS S.A., 2016).	54
Tabla 5: Escenarios para cada una de las condiciones propuestas (Elaboración Propia). 60	
Tabla 6: Análisis granulométrico, donde se ha seleccionado el tamaño del grano de sedimento considerando cada una campaña de muestras “in situ” (Elaboración Propia).	80
Tabla 7: Estimación y clasificación de la Curtosis (K) a través de Folk and Ward (1957). 81	
Tabla 8: Estimación del Transporte Longitudinal de Sedimentos (TLS) en los puntos 1, 2 y 3 (año 1988), mediante la aplicación de 2 formulaciones para conocer la posición de equilibrio (Elaboración Propia).	82
Tabla 9: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 1, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia).	88
Tabla 10: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 2, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia).	89
Tabla 11: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 1, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia).	90
Tabla 12: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 2, en condición “normal” o “sin sequía” durante el año 1988 (Elaboración Propia).	90
Tabla 13: Estimación del Transporte Longitudinal de Sedimentos (TLS) en los puntos 1, 2 y 3 (año 2015), mediante la aplicación de 2 formulaciones para conocer la posición de equilibrio (Elaboración Propia).	92
Tabla 14: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 1, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia).	97
Tabla 15: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 2, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia).	98

Tabla 16: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 1, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia).	99
Tabla 17: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 2, en condición “de sequía” durante el año 2015 (Elaboración Propia).	99
Tabla 18: Estimación del Transporte Longitudinal de Sedimentos (TLS) en los puntos 1, 2 y 3 (año 2030), mediante la aplicación de 2 formulaciones para conocer la posición de equilibrio (Elaboración Propia).	102
Tabla 19: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 1, en una condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia).	107
Tabla 20: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 1 con la Forma 2, en una condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia).	107
Tabla 21: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 1, en una condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia).	109
Tabla 22: Promedios mensuales de los sedimentos transportados al Punto río 2 con la Forma 2, en una condición “proyectada de sequía” durante el año 2030 (Elaboración Propia).	109
Tabla 23: Azimuts de equilibrio [°] para los puntos ubicados en la bahía de Concón cuando el QL Neto resultante se aproxima a cero (Elaboración Propia).	123

RESUMEN

Actualmente hay una necesidad de reconocer, reflejar y representar las dimensiones más amplias del agua, por lo que ha sido un tema de gran interés para distintos entes académicos y público en general en entender, por ejemplo, la vinculación que podría existir entre la disponibilidad del recurso hídrico, dentro de un canal aluvial en una cuenca hidrográfica, con los efectos que provocaría su variabilidad temporal y espacial en las zonas costeras.

Por lo tanto, el presente estudio tiene como finalidad comprobar los efectos de la “mega sequía” que actualmente afecta a nuestro país desde el año 2010 (Garreaud et. al., 2019), principalmente en la zona central de Chile, con respecto al transporte de sedimentos hacia la costa, desde zonas “aguas arriba” hasta su desembocadura. Para ello, se han realizado simulaciones hidrodinámicas en un determinado sector de estudio para estudiar el comportamiento fluvial del río Aconcagua, siendo posible clasificarlo en 3 zonas (sector 1 o “medio oceánico”, sector 2 o de “aguas abajo” y sector 3 o de “aguas arriba”). Cabe señalar que estas simulaciones fueron realizadas considerando previamente una calibración y validación del modelo para una serie de tiempo definida dentro de un periodo de sequía (2015), en la que se ha requerido el empleo de mediciones instrumentales de tipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) instalándose específicamente en la bahía de Concón (proyecto CNE – SEIA, 2015). De la misma forma, se ha dispuesto de información sedimentaria, tanto del medio oceánico y como del medio fluvial para la elaboración de un análisis granulométrico de ambos sectores.

Posterior al proceso de calibración y validación del modelo, se efectuaron simulaciones hidrodinámicas bidimensionales y para el transporte de sedimentos utilizando el programa DHI MIKE 21 módulo FM (Flow Model) y el módulo ST (Sediment Transport). Los resultados de la modelación en el sector de estudio fueron capaces de representar adecuadamente la influencia del medio fluvial en la erosión costera generada en estos últimos años en la playa de Concón y bajo el contexto de “mega sequía”. Ante esto, se presentaron 3 supuestos (dependiendo del caudal disponible diario anual), entregando estimaciones de los aportes sedimentarios en un periodo previo a la sequía (antes del 2010), en sequía (post 2010) y en el caso de que la condición de sequía se proyecte al año 2030 ante un escenario climático desfavorable (RCP 8.5, IPCC 2013). Se visualiza en cada uno de estos casos que los sedimentos transportados en el estuario del río Aconcagua describen una notoria disminución de sus concentraciones en periodos prolongados de sequía, es decir, posterior al año 2010.

Si bien existen algunas observaciones en cuanto a la validación del modelo, aun así, es suficiente para tener un registro preliminar y explicar cuál ha sido el grado de incidencia de los forzantes presentes en el sector (i.e. oleaje océano, corrientes río) en la evolución morfológica de la playa estudiada en estos últimos años.