



Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS ECOLÓGICOS
PROVOCADOS POR LAS EMISIONES LÍQUIDAS Y
ADUCCIONES DE AGUA EN LA BAHÍA DE QUINTERO.**

Ariel Eduardo González Acevedo

Julio 2020

**Evaluación de los efectos ecológicos provocados por las emisiones líquidas
y aducciones de aguas en la Bahía de Quintero.**

Ariel Eduardo González Acevedo

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Dr. Matías Quezada Labra Profesor guía Jefe del departamento de oceanografía física y modelamiento matemático. Ecotecnos S.A	_____	_____
Dr. Humberto Díaz Oviedo Revisor Docente Universidad de Valparaíso	_____	_____
Dr. Patricio Winckler Grez Revisor Docente Universidad de Valparaíso	_____	_____

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

Tras la finalización de este importante proceso que cierra mi educación de pregrado quiero expresar mi gratitud hacia la gente que impacto durante esta fase.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi familia, en específico, a mis padres quienes me permitieron realizar la educación superior y me apoyaron durante cada evento de esta etapa y a mis hermanos quienes siempre me brindaron ayuda cuando lo necesite.

Agradezco a mi polola Constanza quien me ha apoyado desde el día 1 de la universidad hasta ahora que culmina esta fase, con mucha paciencia y amor, dándome ánimo para llegar más lejos.

Es importante agradecer a los amigos con quienes compartimos buenos momentos que permitieron disfrutar esta fase, de los cuales puedo mencionar a: Galaz, Cammas, Bicet, Pope, Dangela, Danky, Cote y Gigi.

En especial, durante este proceso de la construcción de mi proyecto de titulación quiero agradecer a mi profesor guía Matías Quezada, quien me brindó su apoyo, conocimiento y una buena disposición para resolver mis dudas.

También agradezco el apoyo brindado al interior de la empresa Ecotecnos, quienes con palabras amables y aportes desde su conocimiento y experiencia han dado una valiosa ayuda para esta memoria. Donde me gustaría resaltar a Humberto Díaz, José Ribba, Felipe Galaz y Danitza Molina.

En esta memoria se emplearon muchos datos que fueron otorgados por múltiples servicios gubernamentales con mucha amabilidad, entre ellos me gustaría resaltar al Servicio Hidrológico Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) mediante su organismo Centro Nacional de Datos Oceanográficos de Chile (CENDHOC), Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) de la Armada de Chile, Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), Sernapesca y a los datos del Atlas de oleaje pertenecientes a la carrera Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso.

Finalmente, y no menos importante, le agradezco al Danish Hydraulic Institute (DHI), por permitirme emplear los modelos numéricos bajo una licencia estudiantil para la realización de esta tesis.

Contenido

1	Introducción	1
2	Objetivos	2
2.1	Objetivo general	2
2.2	Objetivos específicos	2
3	Alcances y limitaciones	3
4	Descripción del área de estudio	5
5	Marco teórico	16
5.1	Evaluación de descargas y tomas de agua	16
5.2	Hidrodinámica de ambientes costeros.....	20
5.3	Relación ecológica para modelación numérica	24
6	Materiales y metodología	27
6.1	Procesamiento de antecedentes para modelación numérica	28
6.2	Modelación numérica	45
6.3	Calibración y validación.....	61
6.4	Casos a evaluar	63
6.5	Metodologías de evaluación.....	64
7	Caracterización de antecedentes	78
7.1	Oceanografía física	78
7.2	Oceanografía química.....	80
7.3	Oceanografía biológica	82
7.4	Descargas y captaciones	82
8	Calibración, validación y caracterización de simulación año medio	85
8.1	Simulación de oleaje	86
8.2	Simulación hidrodinámica	89
8.3	Simulación ecológica	101
9	Explotación del modelo numérico.....	107
9.1	Evaluación de temperatura y salinidad.....	107
9.2	Evaluación de calidad de agua.....	116
9.3	Evaluación de organismos	121
9.4	Evaluación ambiental	169
10	Discusiones y recomendaciones.....	174
10.1	Antecedentes	174
10.2	Análisis en la evaluación	176

11	Conclusiones	185
11.1	Antecedentes	185
11.2	Características generales de las simulaciones numéricas.....	185
11.3	Análisis de evaluación.....	186
12	Referencias	190
13	Anexos	197
13.1	Anexo Alcances y limitaciones	198
13.2	Anexo Marco teórico	200
13.3	Anexo Metodología y materiales	201
13.4	Anexo Caracterización de antecedentes	206
13.5	Anexo Calibración y validación.....	245
13.6	Anexo Resultados	300
13.7	Anexo Discusión	305

Contenido de tablas

Tabla 4-1 Empresas que descargan y captan agua en la Bahía de Quintero.	8
Tabla 4-2 Distribución de la especie moluscos.....	13
Tabla 4-3 Distribución de la especie peces.	13
Tabla 4-4 Distribución de la especie crustáceos.....	14
Tabla 4-5 Distribución de la especie algas.	14
Tabla 4-6 Imágenes de especies más abundantes en la Bahía de Quintero. a) Jibia, b) Merluza común, c) Jurel, d) Sardina española, e) Camarón nailon, f) Huiro palo.	15
Tabla 5-1 Límites de descarga en agua marina dentro de la ZPL.....	16
Tabla 6-1 Cartas náuticas usadas.	29
Tabla 6-2 Información recopilada de oceanografía física utilizados en la modelación numérica.	31
Tabla 6-3 Intervalos de información oceanográfica física utilizados en la modelación numérica.	32
Tabla 6-4 Información recopilada de oceanografía química utilizados en la modelación numérica.	37
Tabla 6-5 Intervalos de información oceanográfica química utilizados en la modelación numérica.	38
Tabla 6-6 Estado de la información por obtener, acerca descargas y aducciones.....	44
Tabla 6-7 Variables del modelo ecológico.	54
Tabla 6-8 Procesos generales del modelo <i>Ecolab</i>	56
Tabla 6-9 Procesos en relación de los nutrientes.	57
Tabla 6-10 Procesos en relación de oxígeno disuelto.	58
Tabla 6-11 Funciones utilizadas en la producción primaria.	60
Tabla 6-12 Metodología de evaluación según la variable.	62
Tabla 6-13 Simulaciones realizadas.	63
Tabla 6-14 Casos térmicos a estudiar.	66
Tabla 6-15 Casos de estudio para variaciones salinas.	68
Tabla 6-16 Valores de referencia del índice trófico.....	69
Tabla 6-17 Casos biológicos a estudiar.	70
Tabla 6-18 Información sobre los peces seleccionados en el proyecto Aconcagua.....	73
Tabla 6-19 Captaciones a utilizar en la evaluación.	73
Tabla 6-20 Rangos de Relevancia ambiental (Rel) del componente.	75
Tabla 6-21 Variables e indicadores de valoración de la Magnitud del Impacto (MI).....	76
Tabla 7-1 Lista de descargas y captaciones en la Bahía de Quintero.	83
Tabla 7-2 Datos de descarga promedios a utilizar en la modelación.	84
Tabla 7-3 Datos descarga y captación del proyecto Aconcagua.....	84
Tabla 8-1 Resumen de los resultados en los procesos de calibración y validación.	85
Tabla 8-2 Configuración modelo hidrodinámico.....	89
Tabla 8-3 Configuración modelo hidrodinámico, coeficientes relacionados con modelo termo-salino.	94
Tabla 8-4 Configuración de forzantes para modelación termo-salina.	94
Tabla 8-5 Selección de nutrientes para casos a modelar.	102
Tabla 8-6 Concentraciones de variables de organismos para simular.	102
Tabla 9-1 Resumen de superficie de plumas con respecto a bahía.....	113
Tabla 9-2 Razón de variación de los coeficientes TRIX de las distintas simulaciones. ...	119
Tabla 9-3 Variación entre variables dependientes del coeficiente TRIX.	120

Tabla 9-4 Razón de variación respecto de la simulación natural de las variables acumuladas.....	121
Tabla 9-5 Tasa de succión inicial de individuos.....	164
Tabla 9-6 Mortalidad por arrastre en las distintas captaciones.....	165
Tabla 9-7 Pérdidas de adultos según el estadio de la especie anchovetas (<i>Engraulis ringens</i>).....	166
Tabla 9-8 Pérdidas de adultos según el estadio de la especie sardinas (<i>Strangomera bentincki</i>).....	167
Tabla 9-9 Masa correspondiente a los adultos perdidos por el total de captaciones durante la simulación anual.....	168
Tabla 9-10 Valorización del impacto de la variable temperatura.....	170
Tabla 9-11 Valoración del impacto sobre la variable plancton.....	170
Tabla 9-12 Valoración del impacto sobre la variable pesca.....	173
Tabla 13-1 Tabla incidencia de oleaje Hm0 vs Tp punto qnt-1_inv.....	209
Tabla 13-2 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Dp punto qnt-1_inv.....	209
Tabla 13-3 Tabla de incidencia de oleaje Tp vs Dp punto qnt-1_inv.....	210
Tabla 13-4 Tabla incidencia de oleaje Hm0 vs Tp punto qnt-1_ver.....	210
Tabla 13-5 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Dp punto qnt-1_ver.....	211
Tabla 13-6 Tabla de incidencia de oleaje Tp vs Dp punto qnt-1_ver.....	211
Tabla 13-7 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Tp Atlas durante el periodo de qnt-1_inv.....	212
Tabla 13-8 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Dp Atlas en el periodo de qnt-1_inv.....	212
Tabla 13-9 Tabla de incidencia de oleaje Tp vs Dp Atlas en el periodo de qnt-1_inv.....	213
Tabla 13-10 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Tp Atlas en el periodo de qnt-1_ver.....	213
Tabla 13-11 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Dp Atlas en el periodo de qnt-1_ver.....	214
Tabla 13-12 Tabla de incidencia de oleaje Tp vs Dp Atlas en el periodo de qnt-1_ver.....	214
Tabla 13-13 Tabla incidencia de oleaje Hm0 vs Tm punto qnt-5.....	215
Tabla 13-14 Tabla incidencia de oleaje Hm0 vs Tp, Atlas.....	215
Tabla 13-15 Tabla de incidencia de oleaje Hm0 vs Dp, Atlas.....	216
Tabla 13-16 Tabla de incidencia de oleaje Tp vs Dp, Atlas.....	216
Tabla 13-17 Espectro medio por estación. A) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera.....	220
Tabla 13-18 Lista de armónicos de la marea durante el año 2016.....	221
Tabla 13-19 Tabla de incidencia velocidad vs dirección viento.....	224
Tabla 13-20 Tabla de incidencia, capa superficial, punto qnt-1_inv.....	227
Tabla 13-21 Tabla de incidencia, capa intermedia, punto qnt-1_inv.....	227
Tabla 13-22 Tabla de incidencia, capa fondo, punto qnt-1_inv.....	227
Tabla 13-23 Tabla de incidencia, capa superficial, punto qnt-1_ver.....	228
Tabla 13-24 Tabla de incidencia, capa intermedia, punto qnt-1_ver.....	228
Tabla 13-25 Tabla de incidencia, capa fondo, punto qnt-1_ver.....	228
Tabla 13-26 Tabla de incidencia, capa superficial, punto qnt-4.....	229
Tabla 13-27 Tabla de incidencia, capa intermedia, punto qnt-4.....	229
Tabla 13-28 Tabla de incidencia, capa fondo, punto qnt-4.....	229
Tabla 13-29 Información de nutriente nitrato obtenida de la bibliografía recopilada.....	235
Tabla 13-30 Información de nutriente fosfato recopilada de la bibliografía.....	238
Tabla 13-31 Datos de biomasa de clorofila a biográficos.....	241
Tabla 13-32 Resumen de cálculo de biomasa de fitoplancton y clorofila a.....	242
Tabla 13-33 Información de temperatura en periodos de calibración y validación.....	269

Tabla 13-34 Información de salinidad en periodos de calibración y validación.	270
------------------------------------------------------------------------------------	-----

Contenido de Figuras

Figura 4-1 Localización de la Bahía de Quintero.	6
Figura 4-2 Empresas ubicadas en la Bahía de Quintero.	7
Figura 4-3 Localización de caletas pesqueras de Quintero y AMERBs.	10
Figura 4-4 Toneladas desembarcadas por caletas.	11
Figura 4-5 Proporción de especies descargadas en cada caleta.	11
Figura 4-6 Toneladas desembarcadas por especies.	12
Figura 4-7 Toneladas desembarcadas por especies, excluyendo las jibias.	12
Figura 5-1 Malla computacional para simulación de oleaje.	23
Figura 5-2 Esquema de un modelo biológico.	25
Figura 5-3 Ciclo de nutrientes, izquierda ciclo del nitrógeno y derecha ciclo de fósforo.	25
Figura 6-1 Metodología del proyecto.	27
Figura 6-2 Sonatas de las cartas náuticas usadas.	28
Figura 6-3 Puntos con información de oceanografía física.	33
Figura 6-4 Estaciones de medición en proyecto Aconcagua.	38
Figura 6-5 Ubicación de puntos de salida del modelo HYCOM.	39
Figura 6-6 Puntos P.O.A.L. en la V región.	42
Figura 6-7 Malla para modelación de oleaje.	48
Figura 6-8 Esquema de la grilla vertical sigma.	51
Figura 6-9 Malla para modelación hidrodinámica.	52
Figura 6-10 Esquema resumen modelo <i>Ecolab</i> configuración <i>Eutrophication 2</i>	55
Figura 6-11 Funcionamiento nutrientes inorgánicos en <i>Ecolab Eutrophication 2</i>	57
Figura 6-12 Funcionamiento variable oxígeno disuelto en <i>Ecolab Eutrophication 2</i>	58
Figura 6-13 Puntos de extracción de secciones representativas de la bahía.	65
Figura 6-14 Historial fenómeno del Niño y diferencial de TSM en Valparaíso.	67
Figura 6-15 Estimación de la superficie de la bahía.	67
Figura 6-16 Esquema de ambientes oligotrófico y eutrófico.	68
Figura 6-17 Esquema del modelo AEL.	71
Figura 6-18 Jerarquización de impactos ambientales.	77
Figura 7-1 Posición de las descargas y tomas de agua en la Bahía de Quintero.	83
Figura 8-1 Parámetros de resumen de las forzantes de año medio oleaje.	88
Figura 8-2 Forzante de viento de año medio.	92
Figura 8-3 Forzante intercambio de calor para modelación año medio.	93
Figura 8-4 Forzante año medio de temperatura.	95
Figura 8-5 Forzante año medio de salinidad.	96
Figura 8-6 Distribución de corrientes de la simulación hidrodinámica.	98
Figura 8-7 Distribución de temperatura en simulación caso SA.	99
Figura 8-8 Distribución de salinidad en simulación caso SA.	100
Figura 8-9 Comportamiento base de la simulación ecológica.	103
Figura 8-10 Esquema teórico del ciclo anual del fitoplancton en la costa de Valparaíso.	104
Figura 8-11 Esquema resumen del modelo depredador-presa Lotka-Volterra.	105
Figura 9-1 Diferencial de temperatura entre el caso SA y caso SN.	109
Figura 9-2 Diferencial de temperatura entre el caso SN+D3 y caso SN.	110
Figura 9-3 Diferencial de temperatura entre el caso SN+D4 y caso SN.	111
Figura 9-4 Diferencial de temperatura entre el caso SD90_T y caso SN.	112

Figura 9-5 Diferencial de salinidad entre el caso SA+D13 y el caso SA.	115
Figura 9-6 Esquema del comportamiento general coeficiente TRIX.	116
Figura 9-7 Serie de tiempo de la integración de organismos al interior del dominio en el caso SA y SN.	123
Figura 9-8 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SA y SN.	124
Figura 9-9 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SA y SN.	125
Figura 9-10 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SA y SN. ...	126
Figura 9-11 Serie de tiempo de la integración de organismos en el dominio en el caso SN+D3 y SN.....	129
Figura 9-12 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SN+D3 y SN.	130
Figura 9-13 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SN+D3 y SN.	131
Figura 9-14 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SN+D3 y SN.	132
Figura 9-15 Serie de tiempo de la integración de organismos en el dominio en el caso SN+D4 y SN.....	133
Figura 9-16 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SN+D4 y SN.	134
Figura 9-17 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SN+D4 y SN.	135
Figura 9-18 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SN+D4 y SN.	136
Figura 9-19 Serie de tiempo de la integración de organismos al interior del dominio en el caso SD90_T y SN.....	139
Figura 9-20 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SD90_T y SN.	140
Figura 9-21 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SD90_T y SN.	141
Figura 9-22 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SD90_T y SN.	142
Figura 9-23 Serie de tiempo de la integración de organismos al interior del dominio en el caso SD90_P y SN.....	145
Figura 9-24 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SD90_P y SN.	146
Figura 9-25 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SD90_P y SN.	147
Figura 9-26 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SD90_P y SN.	148
Figura 9-27 Serie de tiempo de la integración de organismos en el dominio en el caso SD90_NTK y SN.	151
Figura 9-28 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos D90_NTK y SN.	152
Figura 9-29 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SD90_NTK y SN.	153
Figura 9-30 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SD90_NTK y SN.	154
Figura 9-31 Serie de tiempo de la integración de organismos en el dominio en el caso SA+D13 y SA.	157

Figura 9-32 Diferencia en concentraciones de organismos entre los casos SA+D13 y SA.	158
Figura 9-33 Diferencia en concentraciones de fitoplancton entre los casos SA+D13 y SA.	159
Figura 9-34 Diferencia en concentraciones de zooplancton entre los casos SA+D13 y SA.	160
Figura 9-35 Distribución de la producción media de fitoplancton en los casos de estudio.	162
Figura 9-36 Distribución de la producción media de zooplancton en los casos de estudio.	163
Figura 9-37 Superficie afectada por las captaciones.	164
Figura 9-38 Concentración de zooplancton en cada punto de captación.	165
Figura 9-39 Individuos, huevos y larvas, captados durante la simulación.	166
Figura 9-40 Toneladas desembarcadas en la Bahía de Quintero de los peces sardina (izquierda) y anchoveta (derecha).	168
Figura 9-41 Comparación de los diferenciales de temperatura entre los casos SA y Recuperación.	171
Figura 9-42 Diferenciales de concentración de plancton en los casos SA y Recuperación.	172
Figura 10-1 Variación de TSM a lo largo de Chile.	178
Figura 10-2 Esquematación del efecto de las descargas térmicas sobre el plancton.	181
Figura 13-1 Variación histórica de la salida del estero Campiche.	199
Figura 13-2 Comparación de datos de viento entre la Estación Meteorológica Principal y la Estación La Greda.	202
Figura 13-3 Comparación de datos de viento entre la Estación Meteorológica Principal y la Estación Junta de vecinos de Concón.	203
Figura 13-4 Validación de la variabilidad de la elevación superficial del mar. Recuadro superior construido mediante datos satelitales, recuadro inferior mediante simulación.	205
Figura 13-5 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. Punto qnt-1_inv.	217
Figura 13-6 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. Punto qnt-1_ver.	217
Figura 13-7 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. Punto qnt-2.	217
Figura 13-8 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. Punto qnt-3.	218
Figura 13-9 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. En Atlas en periodo de qnt-1_inv.	218
Figura 13-10 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección en Atlas en periodo de qnt-1_ver.	218
Figura 13-11 Distribución de las alturas significativas (izquierda) y periodos peak (derecha) por dirección. Información total de Atlas.	219
Figura 13-12 Espectro promedio entre los años 1980-2017.	219
Figura 13-13 Serie de tiempo desnivelación nivel del mar durante el año 2016.	221
Figura 13-14 Serie de tiempo de velocidad y dirección de viento, y distribución de velocidades de vientos, en la Estación principal de Quintero.	224
Figura 13-15 Datos de intercambio de calor en Estación Principal de Quintero.	225
Figura 13-16 Distribución de velocidades de corriente por dirección, en el punto qnt-1_inv.	230

Figura 13-17 Distribución de velocidades de corriente por dirección, en el punto qnt-1_ver.	230
Figura 13-18 Distribución de velocidades de corriente por dirección, en el punto qnt-2.	230
Figura 13-19 Distribución de velocidades de corriente por dirección, en el punto qnt-3.	231
Figura 13-20 Distribución de velocidades de corriente por dirección, en el punto qnt-4.	231
Figura 13-21 Comparación de mediciones de temperatura punto qnt-1.	232
Figura 13-22 Información CTD invierno, temperatura (izquierda) salinidad (derecha).	233
Figura 13-23 Información CTD verano, temperatura (izquierda) salinidad (derecha).	233
Figura 13-24 Variabilidad de temperatura superficial, V Región.	234
Figura 13-25 Información recopilada de nitrato.	236
Figura 13-26 Información recopilada de nitrito.	236
Figura 13-27 Información recopilada de amonio.	237
Figura 13-28 Información recopilada de fosfato.	239
Figura 13-29 Mediciones de DO durante la campaña de invierno (izquierda) y durante la campaña de verano (derecha).	240
Figura 13-30 Información recopilada de oxígeno disuelto.	240
Figura 13-31 Composición numérica de las taxa más abundantes identificados en la comunidad fitoplanctónica. En la izquierda la campaña de invierno y en la derecha la campaña de verano.	242
Figura 13-32 Composición numérica de los taxa más abundantes identificados en la comunidad zooplanctónica. En la izquierda la campaña de invierno y en la derecha la campaña de verano.	243
Figura 13-33 Gráfica caudales de descarga.	243
Figura 13-34 Gráfica temperaturas en descargas.	244
Figura 13-35 Gráfica Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK) en descargas.	244
Figura 13-36 Gráfica fósforo en descargas.	244
Figura 13-37 Calibración modelo oleaje punto qnt-1, estación de invierno.	248
Figura 13-38 Validación modelo oleaje punto qnt-1, estación de verano.	249
Figura 13-39 Validación oleaje punto qnt-2.	250
Figura 13-40 Validación oleaje punto qnt-3.	251
Figura 13-41 Validación oleaje punto qnt-5.	252
Figura 13-42 Calibración de marea punto qnt-1, estación de invierno.	254
Figura 13-43 Validación de marea punto qnt-1, estación de verano.	255
Figura 13-44 Calibración corrientes de la componente U, en el punto qnt-1, estación de invierno.	258
Figura 13-45 Calibración corrientes de la componente V en el punto qnt-1, estación de invierno.	259
Figura 13-46 Validación de corrientes de la componente U, en el punto qnt-1, estación de verano.	260
Figura 13-47 Validación de corrientes de la componente V, en el punto qnt-1, estación de verano.	261
Figura 13-48 Validación corrientes de la componente U, en el punto qnt-2.	262
Figura 13-49 Validación corrientes de la componente V, en el punto qnt-2.	263
Figura 13-50 Validación corrientes de la componente U, punto qnt-3.	264
Figura 13-51 Validación corrientes de la componente V, en el punto qnt-3.	265
Figura 13-52 Validación corrientes de la componente U, punto qnt-4.	266
Figura 13-53 Validación corrientes de la componente V, en el punto qnt-4.	267
Figura 13-54 Calibración de temperatura en punto qnt-1_inv.	271
Figura 13-55 Validación de temperatura en punto qnt-1_ver.	271

Figura 13-56 Calibración de temperatura por CTD puntos E-1 a E-7.	274
Figura 13-57 Calibración de temperatura por CTD puntos E-8 a E-12, CN y CS.	275
Figura 13-58 Validación de temperatura por CTD puntos E-1 a E-7.	276
Figura 13-59 Validación de temperatura por CTD puntos E-8 a E-12, CN y CS.	277
Figura 13-60 Calibración de salinidad por CTD puntos E-1 a E-7.	278
Figura 13-61 Calibración de salinidad por CTD puntos E-8 a E-12, CN y CS.	279
Figura 13-62 Validación de salinidad por CTD puntos E-1 a E-7.	280
Figura 13-63 Validación de salinidad por CTD puntos E-8 a E-12, CN y CS.	281
Figura 13-64 Distribución de las variables temperatura y salinidad en las simulaciones de calibración y validación.	282
Figura 13-65 Elección año representativo del modelo HYCOM en periodo de invierno. .	284
Figura 13-66 Elección año representativo del modelo HYCOM en periodo de verano.	285
Figura 13-67 Distribución de las corrientes durante la simulación hidrodinámica.	286
Figura 13-68 Variación de variables del modelo ecológico al interior de la bahía en la capa superior.	289
Figura 13-69 Variación de variables del modelo ecológico al interior de la bahía en la capa intermedia.	290
Figura 13-70 Variación de variables del modelo ecológico al interior de la bahía en la capa fondo.	291
Figura 13-71 Distribución vertical de nutrientes.	293
Figura 13-72 Esquema del modelo depredador-presa Lotka-Volterra.	295
Figura 13-73 Distribución de la concentración de fitoplancton en Caso SA.	297
Figura 13-74 Componente W de la corriente en la simulación Caso SA.	298
Figura 13-75 Distribución de concentración de zooplancton en Caso SA.	299
Figura 13-76 Diferencial de salinidad entre los Casos SA y SN.	301
Figura 13-77 Gráfica coef. TRIX capa superior en distribución de puntos.	302
Figura 13-78 Gráfica coef. TRIX capa intermedia en distribución de puntos.	303
Figura 13-79 Gráfica coef. TRIX capa fondo en distribución de puntos.	304
Figura 13-80 Diferencial de componente w de la corriente entre los Casos SA y SN.	306
Figura 13-81 Diferencial de componente w de la corriente entre los Casos SD90_T y SN.	307
Figura 13-82 Diferencial de componente w de la corriente entre los Casos SN+D3 y SN.	308
Figura 13-83 Diferencial de componente w de la corriente entre los Casos SN+D4 y SN.	309
Figura 13-84 Diferencial de componente w de la corriente entre los Casos SA+D13 y SA.	310

RESUMEN

El presente estudio consistió en la evaluación de los efectos ocasionados por el conjunto de las descargas y aducciones de agua de mar instaladas en la bahía de Quintero, que afectan el medio marino.

La recopilación de datos oceanográficos (físicos, químicos y biológicos) y de las descargas y captaciones de la bahía, permitió la configuración de modelos numéricos para representar la hidrodinámica y un sistema ecológico simplificado correspondiente a la zona de estudio. Esta simulación fue modificada para la representación de los casos de estudio cuyo objetivo fue reflejar los efectos de las actividades antrópicas bajo las condiciones actuales y extremas, según lo establecido en este documento. Los efectos antrópicos fueron comparados contra la representación de la bahía sin descargas ni captaciones, según las variables temperatura, salinidad, calidad de agua y organismos (microorganismos).

En este estudio se demostró el incremento de la temperatura del agua de la bahía durante el año simulado, ocasionado por las descargas actuales. El diferencial de temperatura provocado en la bahía fue superior al incremento térmico característico por el fenómeno del Niño. A pesar que el modelo ecológico no estableció una tolerancia máxima de temperatura en los microorganismos, el impacto térmico reduce el material orgánico debido corrientes ascendentes, inducidas por la disminución de densidad (asociadas al aumento de temperatura), que expulsan organismos de parte de la columna de agua. Este fenómeno ocasionó un cambio en la calidad de agua con una tendencia hacia el estado oligotrófico respecto a la condición natural de la bahía, es decir, sin descargas.

El análisis de las captaciones instaladas en la actualidad culminó con una estimación de la cantidad de microorganismos capturados que pueden asociarse a peces ausentes en la bahía en un futuro próximo, que en esta memoria se centraron en las especies anchovetas (*Engraulis ringens*) y sardinas (*Strangomera bentincki*). La magnitud de estas pérdidas se asemejó a algunos de los valores en los registros de toneladas desembarcadas artesanalmente en la bahía de Quintero, lo cual permite asociar el impacto de las captaciones y el desembarco artesanal de las especies estudiadas, sin embargo, se requieren estudios más profundos para determinar si las captaciones generan daño sobre las especies analizadas en el corto o largo plazo.

Según las simulaciones realizadas, la norma D.S. N°90/ 2000, que limita ciertas características del efluente expulsado sobre cuerpos de agua, no evitó los impactos en la bahía de Quintero. La zona de estudio elegida fue ideal para este tipo de análisis, en relación a la gran cantidad de descargas y a la protección natural de sus costas, que dificulta el transporte de la alteración provocada por los efluentes. Esta normativa no considera ciertos aspectos como las descargas aledañas que pueden emplear los máximos valores de la norma, la salinidad, el caudal o la posición, cuya relevancia fue demostrada mediante modelaciones numéricas, por lo cual, se requirió de criterios sobre el cuerpo de agua que permitiera evaluar los impactos.