



Memoria de titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS
Y PARÁMETROS MEDIOAMBIENTALES PARA EL DISEÑO
AMBIENTAL DE UN EMISARIO SUBMARINO EN LA ZONA
ESTE DE LA BAHÍA DE PARGUA, X REGIÓN, CHILE**

SOFÍA FRANCISCA LEGAROS MUÑOZ

Octubre 2019

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDRODINÁMICAS Y PARÁMETROS
MEDIOAMBIENTALES PARA EL DISEÑO AMBIENTAL DE UN EMISARIO
SUBMARINO EN LA ZONA ESTE DE LA BAHÍA DE PARGUA, X REGIÓN,
CHILE**

Sofía Francisca Lecaros Muñoz

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

PATRICIO WINCKLER GREZ

Profesor guía

MARIO HERRERA ARAYA

Integrante comisión

CARLOS SALDÍAS GALLARDO

Integrante comisión

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.

Patricio Winckler Grez

Profesor Guía

Sofía Lecaros Muñoz

Alumna Memorista

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Cristián y Guacolda porque son los mejores padres de la vida, por su apoyo incondicional, por su esfuerzo y garra del día a día que nos acompañan en cada etapa de nuestras vidas, porque han sabido sacar a delante a sus tres hijos, siempre preocupados por nuestra formación como personas íntegras y dejan que desarrollemos nuestros sueños. A mis hermanos Gonzalo y Cristian gracias.

Sebastián, porque sin ti no habría logrado terminar este proyecto; por levantarme el ánimo y darme fuerzas de seguir adelante cada vez que flaqueo. Eres luz en todo momento, gracias por aventurarte y acompañarme hasta las infinidades del sur de Chile, por tu paciencia, comprensión y amor incondicional.

A mis locarias Angela y Makarena, personas hermosas que conocí en esta etapa de mi vida y que me acompañaron en todo momento hasta los días de hoy. Gracias por tantas alegrías, consejos y momentos vividos.

A mi hermosa carrera de Ingeniería Civil Oceánica y sus profesores, que me enseñaron a entender y comprender las maravillas de los océanos y por la paciencia durante todo este periodo. Gracias por los conocimientos adquiridos, al profesor Patricio Winckler por aceptarme como su alumna memorista ingrata y por su paciencia. A Yasna Vera, mi psicóloga personal, gracias infinitas por sus consejos y por su buena disposición en lo largo de mi carrera universitaria. Al profesor Mario Herrera también por aceptar a ser parte de mi comisión evaluadora.

A WSP Ambiental S.A. Chile por confiar en mí. Me entregaron las herramientas para desarrollar este proyecto de tesis y mi equipo de trabajo de estudios acuáticos y oceanográficos de Puerto Montt quienes me han dado todas las herramientas para crecer en el ámbito laboral. A Carlitos Saldías quien aceptó a ser parte de mi comisión evaluadora. Tuta y Diego, gracias por el apoyo incondicional y porque tienen la paciencia de aguantarme día a día.

Este proyecto de título está dedicado a mi mamá chica. Aquí está tu nieta mayor sacando una carrera para hombres; espero te sientas orgullosa y compartan este logro con la Sara, el Tata y el Toyi. Finalmente, a mis sobrinas Agustina Paz y Mía Leonor, que todo es por y para ustedes.

CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	1
2	INTRODUCCIÓN.....	2
3	OBJETIVOS	4
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4	ANTECEDENTES GENERALES	5
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	5
4.2	DESCRIPCIÓN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RILES	9
5	FUNDAMENTO TEÓRICO	12
5.1	EMISARIO SUBMARINO.....	12
5.2	DISEÑO AMBIENTAL DEL EMISARIO.....	13
5.2.1	UBICACIÓN DEL EMISARIO SUBMARINO	13
5.2.2	ZONAS DE MEZCLA.....	13
5.2.3	CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO RECEPTOR.....	18
5.3	SOFTWARE VISUAL PLUMES	21
5.3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO UM3	25
5.3.2	ECUACIONES DE GOBIERNO.....	26
5.4	SOFTWARE MOHID STUDIO	29
5.4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO MOHID WATER	29
5.4.2	MÓDULO MODEL	32
5.4.3	MÓDULO DE GEOMETRÍA.....	32
5.4.4	MÓDULO HIDRODINÁMICO.....	34
5.4.5	MÓDULO LAGRANGIANO.....	36
5.5	REGULACIÓN AMBIENTAL APLICABLE AL PROYECTO.....	38
5.5.1	ARTÍCULO 19 N° 8 CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA.....	38
5.5.2	LEY N° 19.300, SOBRE BASES GENERALES DEL MEDIO AMBIENTE ...	38

5.5.3	LEY DE NAVEGACIÓN, D.L. 2.222, 1978.	39
5.5.4	LEY N° 18.892, LEY GENERAL DE PESCA Y ACUÍCULTURA	39
5.5.5	REGLAMENTO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL D.S. N°40.....	39
5.5.6	REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ACUÁTICA D.S.(M) N°1/1992	40
5.5.7	REGLAMENTO SOBRE CONCESIONES MARÍTIMAS.....	40
5.5.8	NORMA DE EMISIÓN PARA CONTAMINANTES, D.S. N° 90/2.000.....	40
5.5.9	CIRCULAR DGTM y MM ORDINARIA N° A-53/004.	41
6	DATOS BASE PARA LA DEFINICIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	42
6.1	INFORMACIÓN DEL MEDIO	42
6.1.1	CORRIENTES	42
6.1.2	MAREAS	42
6.1.3	VIENTOS.....	43
6.1.4	BATIMETRÍA.....	44
6.1.5	COLUMNA DE AGUA.....	45
6.2	CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE	46
7	METODOLOGÍA	47
7.1	CAMPO CERCANO.....	47
7.1.1	ANÁLISIS DE CORRIENTES	47
7.1.2	SOFTWARE VISUAL PLUMES	57
7.2	CAMPO LEJANO.....	63
7.2.1	SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA MEDIANTE MOHID.....	63
7.2.2	SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA Y DE TRANSPORTE	67
8	RESULTADOS	73
8.1	DISPONIBILIDAD LITORAL Y DE CONCESIONES MARÍTIMAS.....	73
8.2	CAMPO CERCANO.....	75
8.2.1	CASO A.....	75
8.2.2	CASO B.....	76

8.2.3	CASO C.....	77
8.3	CAMPO LEJANO.....	79
8.4	PROPUESTA DE DISEÑO AMBIENTAL DEL EMISARIO EN ESTUDIO.....	82
9	CONCLUSIONES	84
	ANEXOS.....	85
10	ANEXO A.....	85
10.1	FINITE VOLUME	85
11	ANEXO B.....	87
11.1	EQUATIONS	87
11.2	DISCRETIZATION.....	89
11.2.1	Spatial discretization: Finite volume approach	89
11.2.2	Temporal discretization: Semi-implicit ADI algorithm	89
11.2.3	Discretization of the different processes	89
11.3	BOUNDARY CONDITIONS	93
11.3.1	Free Surface.....	93
11.3.2	Bottom boundary	93
11.3.3	Lateral closed boundaries.....	94
11.3.4	Open boundaries	94
11.3.5	Moving boundaries	94
12	ANEXO C.....	95
12.1	MONITORING BOXES	95
13	BIBLIOGRAFÍA	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1: Esquema referencial emisarios submarinos.....	7
Figura 4-2: Área de estudio y situación emisarios.....	8
Figura 4-3: Diagrama de flujo sistema de tratamiento de RILes.....	10
Figura 5-1: Esquema de un emisario submarino.....	12
Figura 5-2: Conceptos generales asociados a emisarios submarinos.....	14
Figura 5-3: a) Diseños de difusores, b) Descarga de una pluma de boyantes positiva.....	16
Figura 5-4: Campos ascendentes de aguas residuales bajo condiciones de estratificación y no estratificación.....	17
Figura 5-5: Perfiles verticales de velocidad inducidos por marea, viento y oleaje.....	20
Figura 5-6: Esquema del vertido simulado por Visual Plumes.....	23
Figura 5-7: Desplazamiento de una descarga en el modelo UM3.....	27
Figura 5-8: Simulaciones realizadas por MOHID studio.....	30
Figura 5-9: Flujo de información entre los modelos anidados.....	32
Figura 5-10: Flujo de información entre el módulo de geometría y los otros módulos.....	33
Figura 5-11: Representación coordenadas verticales.....	33
Figura 5-12: Flujo de información entre modulo hidrodinámico y otros módulos.....	35
Figura 5-13: Funcionamiento modulo lagrangiano con otros módulos.....	36
Figura 6-1: Ubicación sitio seleccionado de medición de vientos.....	43
Figura 6-2: Cartas náuticas.....	44
Figura 7-1: Rosa de viento-10 m-Sicigia.....	49
Figura 7-2: Diagrama de velocidades-10 m-Sicigia.....	49
Figura 7-3: Rosa de viento-25 m-Sicigia.....	50
Figura 7-4: Diagrama de velocidades-25 m-Sicigia.....	51
Figura 7-5: Rosa de viento-37 m-Sicigia.....	52
Figura 7-6: Diagrama de velocidades-37 m-Sicigia.....	52
Figura 7-7: Rosa de viento-10 m-Cuadratura.....	53
Figura 7-8: Diagrama de velocidades-10 m-Cuadratura.....	54

Figura 7-9: Rosa de viento-25 m-Cuadratura.....	55
Figura 7-10: Diagrama de velocidades-25 m-Cuadratura.....	55
Figura 7-11: Rosa de viento-37 m-Cuadratura.....	56
Figura 7-12: Diagrama de velocidades-37 m-Cuadratura.....	57
Figura 7-13: Características del dispositivo de vertido.....	59
Figura 7-14: Datos ambiente.....	60
Figura 7-15: Direcciones simulación, mediante Visual Plumes.....	61
Figura 7-16: Special Setting.....	62
Figura 7-17: Estructura de simulación MOHID.....	64
Figura 7-18: Malla batimétrica.....	65
Figura 7-19: Puntos de marea.....	66
Figura 7-20: Dirección del viento.....	67
Figura 7-21: a) Módulos simulación hidrodinámica, b) Módulos simulación lagrangiana.....	68
Figura 7-22: Comando simulación hidrodinámica.....	68
Figura 7-23: Descarga del modelo lagrangiano.....	70
Figura 7-24: Datos de entrada modelo lagrangiano.....	71
Figura 7-25: Modelos anidados.....	72
Figura 8-1: Disponibilidad litoral.....	73
Figura 8-2: Simulación A. a) cuadratura, b) sicigia.....	75
Figura 8-3: Simulación B, a) Cuadratura, b) sicigia.....	76
Figura 8-4: Simulación C, a) cuadratura, b) sicigia.....	77
Figura 8-5: Simulación hidrodinámica.....	79
Figura 8-6: Trayectoria del contaminante en campo lejano.....	80
Figura 8-7: Trayectoria contaminante al cabo de 30 minutos.....	81
Figura 8-8: Propuesta diseño emisario.....	83
Figura 10-1: Volumen de control del modelo MOHID.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1: Información ductos de descarga, coordenadas UTM (Datum WGS-84 Huso-18)	8
Tabla 5-1: Principales modelos del paquete Visual Plumes.	21
Tabla 5-2: Ventajas y desventajas del paquete Visual Plumes.....	23
Tabla 5-3: Núcleos ejecutables del software MOHID studio.	29
Tabla 5-4: Principales módulos del programa MOHID Water.	31
Tabla 6-1: Antecedentes astronómicos del registro de corrientes.	42
Tabla 6-2: Adaptación, características del sitio.	43
Tabla 6-3: Información columna de agua.	45
Tabla 7-1: Registro total de corrientes.	47
Tabla 7-2: Análisis de corrientes en sicigia (10 m).	48
Tabla 7-3: Análisis de corrientes en sicigia (25 m).	50
Tabla 7-4: Análisis de corrientes en sicigia (37 m)	51
Tabla 7-5: Análisis de corrientes en cuadratura (10 m).	53
Tabla 7-6: Análisis de corrientes en cuadratura (25 m).	54
Tabla 7-7: Análisis de corrientes en cuadratura (37 m).	56
Tabla 7-8: Información corrientes.....	57
Tabla 7-9: Información efluente.....	58
Tabla 7-10: Datos diseño difusor.	59
Tabla 8-1: Coordenadas de salida Visual Plumes.	78
Tabla 8-2: Especificaciones técnicas propuesta emisario	82

1 RESUMEN

El proyecto en estudio, corresponde a una piscicultura de recirculación para smoltificación en tierra de peces, que se ubica en el sector este de la bahía de Parga, región de Los Lagos, aproximadamente a 64 Km de la Ciudad de Puerto Montt. Actualmente la piscicultura descarga sus aguas residuales a la bahía mediante dos emisarios con un mismo punto de descarga en común. A causa de las corrientes del sector y a una mala instalación de ambos emisarios, uno de ellos se vio desplazado hacia el norte y otro hacia el sur, quedando fuera de la concesión otorgada y se encuentran separados por una distancia de aproximadamente 131 m, uno del otro.

A modo de mejorar la disposición final de estos emisarios y volverlos a su punto original sin dañar el medio marino, el objetivo de la presente memoria es realizar una caracterización hidrodinámica, para luego realizar la modelación de la pluma de dispersión generada a la salida del emisario, a fin de conocer la capacidad de dilución sobre la bahía de Parga. Se utilizaron los datos de concentración de DBO_5 presente en el efluente vertido, entendiendo que la capacidad de dilución del emisario será la misma para cualquier otro elemento o parámetro constituyente del efluente. Todo esto para cumplir con la normativa ambiental vigente y proponer el diseño ambiental y sanitario para un nuevo emisario submarino que realizará su descarga de efluentes en el punto original, autorizado para el funcionamiento del emisario.

Para caracterizar la hidrodinámica del sector se realizó una estadística descriptiva y se utilizó un modelo 3D forzado por mareas y vientos adquiridos de la zona en estudio. Para calcular el área de influencia de la pluma de dispersión del efluente asociado a la descarga del emisario propuesto, se utilizó el software Visual Plumes para representar el campo cercano y proponer el diseño del tramo final del emisario llamado difusor. Luego se determinó la evolución de la pluma de dilución en el campo lejano mediante el software MOHID studio.