

# TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos .....	2
1.3. Metodología.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Normativa vigente para el lago Villarrica .....	3
2.1.1. DS 90.....	3
2.1.2. Norma secundaria .....	5
2.2. Instrumentos económicos para el control de la calidad del agua .....	7
2.2.1. Lago Taupo (Nueva Zelanda).....	8
2.2.2. Río Tar-Pamlico (Estados Unidos) .....	10
2.2.3. Río Hawkesbury-Nepean (Australia) .....	11
2.3. Función de transferencia.....	11
3. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES.....	13
3.1. Área de estudio.....	13
3.1.1. Cuenca del lago Villarrica.....	13
3.1.2. Agentes contaminantes en la cuenca .....	16
3.1.3. Caracterización del lago.....	17
3.2. Niveles de emisiones .....	19
3.3. Caracterización de los costos de reducción.....	21
3.3.1. Pisciculturas .....	21
3.3.2. Agricultura.....	22
3.3.3. PTAS Pucón y alcantarillado Curarrehue .....	22
4. MODELACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS .....	24
4.1. Marco teórico.....	24
4.2. Resultados del modelo de calidad .....	27
4.3. Resultados función de transferencia .....	29
5. ESQUEMAS DE CONTROL DE CONTAMINACIÓN .....	32
5.1. Situación actual.....	33

5.2.	Regulación mediante normativa en esquema comando y control.....	34
5.2.1.	Comando y control sin fuentes difusas .....	34
5.2.2.	Comando y control con fuentes difusas.....	34
5.3.	Regulación mediante instrumento económico .....	37
5.3.1.	Instrumento económico según porcentaje de reparación de riberas exógeno 39	
5.3.2.	Solución de mínimo costo con selección endógena de nivel de restauración 40	
5.4.	Análisis comparativo de marcos regulatorios.....	41
6.	RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE INSTRUMENTOS ECONÓMICOS EN LA CUENCA.....	44
6.1.	Recomendaciones generales .....	44
6.2.	Permisos transables de emisión .....	45
6.3.	Pago por servicios ambientales .....	45
6.4.	Fuente única de compensación .....	46
7.	CONCLUSIONES.....	47
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	50
	ANEXO A: DECISIONES DE ABATIMIENTO .....	52
	DECISIONES ABATIMIENTO PARA REGULACIÓN POR DESCARGA MÁXIMA.....	52
	DECISIONES DE ABATIMIENTO PARA REGULACIÓN POR REDUCCIÓN UNIFORME .....	58
	DECISIONES DE ABATIMIENTO INSTRUMENTO ECONÓMICO.....	64

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Zonas de vigilancia estipuladas en la norma secundaria. (Fuente: NSCA lago Villarrica, 2013).....	6
Figura 3.1: Cuenca del lago Villarrica (Fuente: MMA, 2011) .....	14
Figura 3.2: Climograma estación Temuco-Manquehue. (Fuente: Rozas, 2011) .....	15
Figura 3.3: Perfiles de temperatura en el centro del lago correspondiente a meses representativos de los períodos de estratificación (enero) y mezcla (verano) del año 2008. (Fuente: MMA, 2011).....	15
Figura 3.4: Ubicación en la cuenca de fuentes de emisión puntuales. (Fuente: UDD, 2016) .....	16
Figura 3.5: Uso de suelo al interior de la cuenca del lago Villarrica. (Fuente: UDD, 2016, en base a CONAF, 2014).....	17
Figura 3.6: Batimetría del lago Villarrica. (Fuente: Meruane, 2005).....	18
Figura 3.7: Curvas hipsométricas del lago Villarrica. (Fuente: Meruane, 2005) .....	18
Figura 4.1: Representación esquemática del modelo “Simplest seasonal approach”. SRP: Fósforo soluble reactivo. NSRP: Fósforo no soluble reactivo. Fuente: (Elaboración propia) .....	25
Figura 4.2: Ubicación de las estaciones fluviométricas ubicadas en afluentes y efluentes del lago Villarrica (Fuente: Mapa hidrometeorológico DGA). .....	28
Figura 4.3: Comparación de los resultados de la simulación realizada para el período de tiempo invierno 2005-verano 2015 con los datos medidos en la estación de calidad Lago Villarrica en bahía Villarrica. ....	29
Figura 4.4: Comparación del modelo original vs función impulso respuesta para un caso de doble nivel de emisiones con respecto a la situación actual. ....	30
Figura 5.1: Comparativa de calidad de agua en el lago entre el escenario actual y un escenario que sólo considera la existencia de contaminación difusa.....	34
Figura 5.2: Reducción uniforme de descargas necesaria y costos de implementación para cada uno de los escenarios de reforestación de riberas.....	35
Figura 5.3: Carga máxima permitida y costos de implementación para cada uno de los escenarios de restauración de riberas. ....	36
Figura 5.4: Emisiones totales de fuentes puntuales y costo de implementación para el caso de asignación óptima para cada escenario de restauración de riberas.....	39
Figura 5.5: Curva de costos totales correspondientes al uso de instrumentos económicos para un cierto nivel de concentraciones de fósforo en el lago, dado un nivel de restauración de riberas.....	40
Figura 5.6: Comparación de los marcos regulatorios. Descargas acumuladas de fuentes puntuales en función del porcentaje de reparación de riberas. El costo de implementación viene dado por el tamaño del círculo. ....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Valores de contaminantes a exceder en las descargas para estar ser considerado fuente emisora según el decreto 90. (Fuente: DS 90).....	4
Tabla 2.2: Límites máximos permitidos de contaminantes para descargas realizadas directamente a cuerpos de agua lacustre naturales o sus afluentes. (Fuente: DS 90). .....	5
Tabla 2.3: Niveles de calidad por áreas de vigilancia en el lago Villarrica (Fuente: elaboración propia en base a la NSCA del lago Villarrica).....	7
Tabla 3.1: Parámetros morfológicos del lago Villarrica. (Fuente: Rozas, 2011) .....	18
Tabla 3.2: Caracterización de fuentes contaminantes. * Por falta de información se impone ese valor. (Fuente: Elaboración propia en base a UDD, 2016 y UACH,2008).....	20
Tabla 3.3: Funciones de costo de las tecnologías de abatimiento de pisciculturas. (Elaboración propia en base a Fuente: UDD, 2016).....	21
Tabla 3.4: Costos establecidos por CONAF para reforestación considerando franjas de 5 metros de ancho, temporada 2010. (Fuente: AGIES, 2011) .....	22
Tabla 4.1: Diferencia del modelo impulso-respuesta en comparación al modelo original para un caso de doble nivel de emisiones con respecto a la situación actual. ....	31
Tabla 5.1: Costo anualizado de las medidas de abatimiento adoptadas en la situación actual. Tasa de descuento=6%.....	33
Tabla 5.2: Costo de abatimiento anualizado teórico al utilizar instrumentos económicos para cumplir la norma secundaria. Tasa de descuento = 6%. .....	41