

INFORME FINAL

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO) PARA INCORPORAR AL PLAN DE DESCONTAMINACION DEL LAGO VILLARRICA



Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

Equipo de Trabajo:

Jefe de Proyecto:	Juan Carlos Ortega Bravo
Coordinadora:	Mercedes Nistal Beleña
Ing. De Proyecto:	Catalina Martínez Pérez
Ing. De Proyecto:	Karla Victoria Abarzúa Gatica
Ing. De Proyecto:	Francisco Rubilar Rocha

25 de abril de 2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO GENERAL	8
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS (OE).....	8
3. METODOLOGÍA PROPUESTA	9
3.1 (OE 1) MEDICIÓN DE NUTRIENTES.	9
3.2 (OE 2) IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE PROPUESTAS DE MEDIDAS.....	14
3.3 (OE 3) EVALUACIÓN DE MEDIDAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA DE NUTRIENTES.	16
4. RESULTADOS (OE 1)	21
4.1 CAUCES APORTANTES, NUEVAS FUENTES PUNTUALES Y MUESTREO.	21
4.2. OTROS DATOS LEVANTADOS POR ORGANISMOS PÚBLICOS.....	42
5. RESULTADOS (OE 2)	49
5.1 IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE MEDIDAS.....	49
5.2 TALLER 1.	52
5.3 EVALUACIÓN DE MEDIDAS.	55
5.3.1 <i>Macromedidas de Gestión</i>	55
5.3.2 <i>Macromedidas de Fuentes Puntuales</i>	60
5.3.3 <i>Macromedidas de Fuentes Difusas</i>	62
5.4 TALLER 2.	69
5.5 PROPUESTA DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN A MEDIANO Y LARGO PLAZO	70
5.5.1 <i>Propuestas UFRO: Medida de Gestión</i>	70
5.5.2 <i>Propuestas UFRO: Medida para fuentes puntuales</i>	71
5.5.3 <i>Propuestas UFRO: Medida para fuentes difusas</i>	71
6. RESULTADOS (OE 3)	74
6.1 ESTIMACIÓN DEL APORTE DE NUTRIENTES DE CENTROS TERMALES Y OTROS PUNTOS DE INTERÉS	74
6.2 MODELO DE TRANSPORTE DE NUTRIENTES EN CAUCES APORTANTES (WASP)	86
6.2.1 <i>Estero Molco (M1)</i>	93
6.2.2 <i>Estero Loncotraro (M2)</i>	97
6.2.3 <i>Estero Correntoso (M3)</i>	101
6.2.4 <i>Estero Los Chilcos (M4)</i>	105
6.2.5 <i>Río Trancura (M5)</i>	109
6.2.6 <i>Resumen de emisiones por Fuente Puntual (Escenarios 1 y 2)</i>	132
6.3 MODELO DE NUTRIENTES EN CUENCA DEL LAGO VILLARRICA (N-SPECT)	136
6.4 DIFERENCIAS ENCONTRADAS EN LOS APORTES DIFUSOS MODELADOS (WASP Y N-SPECT)	147
7. RESUMEN DE INVENTARIO DE EMISIONES	151
8. CONCLUSIONES GENERALES	157
9. REFERENCIAS	160
10. ANEXO 1. COMPENDIO GENERAL DE MEDIDAS ASOCIADAS AL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN AMBIENTAL DEL LAGO VILLARRICA	161
11. ANEXO 2. REGISTRO DE ASISTENCIA Y FOTOGRAFÍAS TALLER 1	165
12. ANEXO 3. REGISTRO DE ASISTENCIA Y FOTOGRAFÍAS TALLER 2	172
13. ANEXO 4. REGISTRO FOTOGRÁFICO SALIDAS A TERRENO COMPLEMENTARIAS	178
14. ANEXO 5. GEOMETRÍA WASP PARA RÍO TRANCURA	184
15. ANEXO 6. CERTIFICADOS DE ACREDITACIÓN	190

EQUIPO DE TRABAJO

1. Dr. Juan Carlos Ortega Bravo
Ingeniero Ambiental
Rol: Jefe de Proyecto
e-mail: juan.ortega@ufrontera.cl
2. Mercedes Nistal Beleña
Ingeniero Ambiental
Rol: Coordinadora de Proyecto
e-mail: mercedes.nistal@ufrontera.cl
3. Francisco Rubilar Rocha
Ingeniero Civil Ambiental
Rol: Ingeniero de Proyectos
e-mail: francisco.rubilar@ufrontera.cl
4. Catalina Martínez Pérez
Ingeniero Civil Ambiental
Rol: Ingeniera de Proyectos
e-mail: catalina.martinez@ufrontera.cl
5. Karla Victoria Abarzúa Gatica
Ingeniero Civil Ambiental
Rol: Ingeniera de Proyectos
e-mail: k.abarzua03@ufromail.cl

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del Lago Villarrica se localiza en la región de la Araucanía y es una subcuenca del Río Toltén, con una superficie de 2,805 km² abarca las comunas de Villarrica, Pucón, Curarrehue y una porción de la comuna de Cunco. En la cuenca, hay dos cuerpos de agua lacustres, el Lago Villarrica y el Lago Caburgua. El área de influencia de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) corresponde a 351686 ha, de las cuales el 80% son zonas montañosas, 12% zonas de valles, y un 8% equivale al área ocupada por los Lagos Villarrica y Caburgua (DGA, 2009).

El Lago Villarrica está ubicado en el extremo sureste de la novena región de La Araucanía, en la provincia de Cautín (Figura 1). Tiene una extensión de 176 km² y 165 m de profundidad máxima, este Lago tiene como principal afluente al río Trancura que aporta casi un 90% del caudal entrante al Lago (D.S. N° 19/2013).

Después de la entrada en vigencia de la NSCA del Lago Villarrica y con los resultados del monitoreo sistemático de la calidad de sus aguas, hay una clara evidencia de cambios en cuanto a su calidad aunque no existe certeza de los efectos de las cargas de nitrógeno y fósforo (MMA-UACH, 2009). Actualmente los antecedentes levantados en la cuenca del Lago Villarrica, sugieren una transición del Lago desde una condición de oligotrofia a una de mesotrofia (MMA, 2011).

De acuerdo a los estudios realizados por MMA-UACH (2009) y MMA-UCT (2012), los aportes difusos en la cuenca del Lago Villarrica provienen de los usos de suelo y de la infiltración asociada a las fosas sépticas de las casas de veraneo. Con respecto a las fuentes puntuales, la carga de nutrientes viene de la actividad acuícola y de la planta de tratamiento de aguas servidas en Pucón. Son considerables también los aportes provenientes de las descargas de aguas servidas de la localidad de Curarrehue. Por otro lado MMA-UFRO (2018) estableció que las cargas de Nitrógeno y Fósforo como aporte difuso desde la ribera sur, se debe a la inexistente infraestructura de alcantarillado entre las zonas urbanas de Pucón y Villarrica.

Debido a esto, el Ministerio de Medio Ambiente y la Dirección General de Aguas han puesto énfasis en el monitoreo y protección de las aguas de la cuenca del Lago Villarrica considerada una de las principales atracciones turísticas de la novena región.

En este contexto, la Seremi de Medio Ambiente (SMMA) Región de La Araucanía, en 2017 encomendó un estudio técnico para la determinación de las concentraciones de nutrientes en los principales afluentes al Lago Villarrica, estimación de su carga y propuesta de medidas para su reducción (MMA-UFRO, 2018).

El estudio realizado por MMA-UFRO (2018) logró el desarrollo e implementación de 5 modelos de transporte de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) para los principales cauces

aportantes al Lago Villarrica, siendo los esteros Molco, Loncotraro, Correntoso, Los Chilcos y Río Trancura, los cauces seleccionados para la esta evaluación.

Los primeros resultados del estudio realizado por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua (MMA-UFRO, 2018), mostraron que desde los principales cauces aportantes al Lago llegan en total 128.5 ton/año de Fósforo-total y 1126.8 ton/año de Nitrógeno-total. El 44.5% del Fósforo-total y el 73.2% del Nitrógeno-total provendrían de actividades productivas y sanitarias, tales como pisciculturas, aguas servidas con descarga directa y planta de tratamiento de aguas servidas urbanas. Es importante destacar que en este primer estudio de MMA-UFRO (2018) no se contaba con suficiente información de las condiciones de calidad del agua en los puntos de borde del modelo desarrollado por el estudio, el cual concluye que es necesario contar con más información al respecto, de esta manera los valores proporcionados por ese estudio podrían variar dependiendo de la incorporación de nueva información complementaria.

Respecto de lo anterior, una comparación de los obtenidos por MMA-UFRO (2018) y MMA-UACH (2009), para el Río Trancura, muestran diferencias significativas (ver Tabla 1). En el estudio de MMA-UACH (2009) se contaba con poca información de la calidad de agua de los ríos e información de las descargas de las pisciculturas presentes en la cuenca, por lo cual fue necesario recurrir a estimaciones de emisión. Al comparar los resultados de MMA-UACH (2009) con los obtenidos por MMA-UFRO (2018) es posible notar diferencias importantes, esto se debe a tres aspectos básicos, MMA-UFRO (2018) contó con más información de calidad por muestreos realizados en terreno, contó con información de descarga de pisciculturas reportadas por ellas mismas y por último, la temporalidad, existen 10 años de diferencia entre ambos estudios, por lo que las condiciones hidrológicas, de producción en las plantas, entre otros, pudieron haber cambiado.

Tabla 1. Estimación de aporte de Nitrógeno y Fósforo desde esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica MMA-UFRO (2018) y MMA-UACH (2009).

Nombre del estero	TOTAL, río/estero		Pisciculturas/AS/PTAS		Fuentes Difusas	
	PT (ton/año)	NT (ton/año)	PT (ton/año)	NT (ton/año)	PT (ton/año)	NT (ton/año)
MMA-UFRO (2018) pág. 52, Inf. Final	108.5	934.2	43.0	649.5	65.5	284.7
MMA-UACH (2009) pág. 40, Tercer Inf.	332.1	996.3	11.2	95.6	320.9	900.7

NOTA: La comparativa mostrada en la tabla corresponde únicamente al aporte del río Trancura.

Por otro lado, el mismo estudio, sugiere continuar esta investigación por 3 años, aumentando la cantidad de puntos de muestreos y la frecuencia temporal de los mismos, de tal forma de levantar información suficiente para implementar y robustecer, de



manera adecuada los modelos de transporte desarrollados por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua. Por lo tanto, es necesario continuar con el levantamiento de nueva información que permita calibrar los modelos de transporte de nutrientes para los principales cauces aportantes al Lago Villarrica, esto con la finalidad de evaluar posibles medidas de mitigación, reducción y gestión de los mismos.

Finalmente, con información más completa, será posible evaluar e identificar las medidas que permitan generar un mayor impacto en la reducción de nutrientes desde fuentes puntuales y difusas, permitiendo aportar un insumo estratégico para la elaboración del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

Es en este contexto que la SMMA Región de La Araucanía impulsó una segunda etapa de trabajo denominada “Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al plan de descontaminación del Lago Villarrica”, el cual consiste en el levantamiento y revisión de todas las medidas propuestas por estudios anteriores, lo cual permitirá una sistematización de las mismas previo a su evaluación según la metodología propuesta por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua.

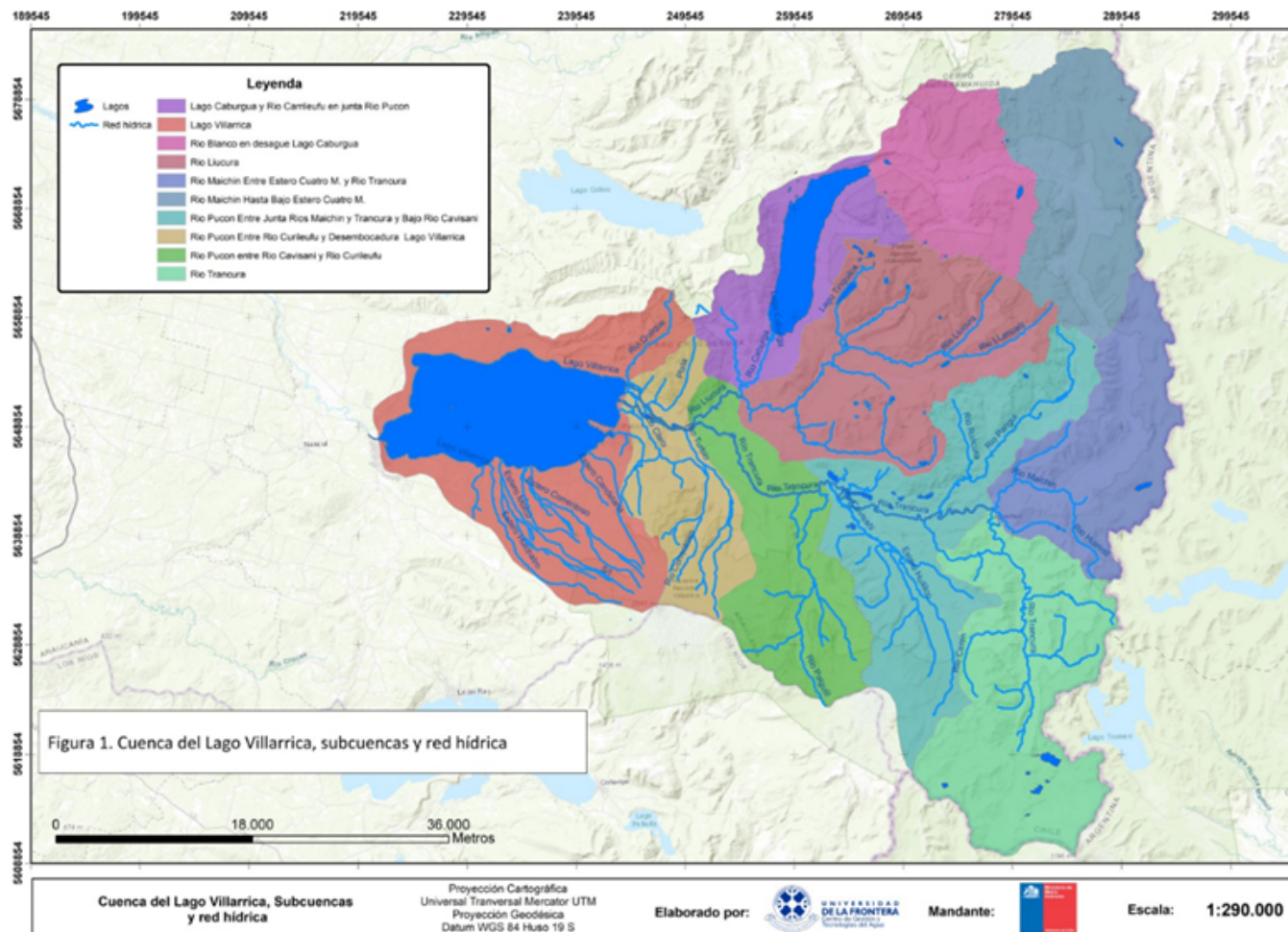


Figura 1. Cuenca del Lago Villarrica, subcuencas y red hídrica (Elaboración propia).



2. OBJETIVO GENERAL

Identificar, analizar y evaluar un conjunto de medidas para lograr la reducción de cargas de Nitrógeno y Fósforo proveniente de las principales fuentes aportantes en cuenca del Lago Villarrica, definiendo las potenciales reducciones de cargas y su eficiencia, con el fin de contribuir a la elaboración del Anteproyecto del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

2.1. Objetivos específicos (OE)

1. Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en cauces aportantes al Lago Villarrica.
2. Identificación y análisis de propuestas de medidas para reducir la carga de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas identificadas en la investigación.
3. Evaluación, mediante modelos de transporte, de un conjunto de medidas para reducir la carga de nutrientes proveniente de los principales cauces aportantes al Lago Villarrica.

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1 (OE 1) Medición de nutrientes.

Actividad 3.1.1. Selección de cauces aportantes de relevancia en término del aporte de nutrientes al Lago y puntos de muestreo.

Para el logro de esta actividad se adoptó la propuesta metodológica hecha por MMA-UFRO (2018), donde los cauces tributarios son todos aquellos ríos, esteros y canales que desembocan en ríos de mayor envergadura en términos de caudal. Para este trabajo se seleccionaron todos aquellos ríos, esteros y tributarios que se encuentren en la ribera sur del Lago Villarrica, que actúen como afluentes al Lago Villarrica y/o que posean descargas de fuentes puntuales, los cuales abarcarán desde el estero Lefún o Conquil hasta el río Pucón o Minetúe, según metodología propuesta por MMA-UFRO (2018).

Actividad 3.1.2. Selección estratégica de períodos relevantes para el muestreo de nutrientes en los ríos y esteros tributarios (seleccionados en la Actividad 3.1.1.)

La cantidad de monitoreos será como mínimo 2 campañas y estarán distribuidas durante el periodo que dura esta consultoría. Este monitoreo complementará los períodos no considerados durante el desarrollo del anterior estudio “Determinación de las concentraciones de nutrientes en los principales afluentes al Lago Villarrica, estimación de su carga y propuesta de medidas para su reducción” ejecutado por MMA-UFRO (2018).

Los puntos de muestreo corresponden a dos tipos: muestras tipo “M” correspondiente a la clasificación de MMA-UFRO (2018) y muestras tipo “B” correspondientes a muestras de las condiciones de borde (aguas arriba) desde el punto de descarga de alguna fuente puntual en los cauces considerados en este estudio, las Tabla 3 y Tabla 4 presentan los muestreos según fecha y parámetros considerados, tales como Temperatura (T, °C), pH, Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Oxígeno Disuelto (DO, mg/L), Fósforo Disuelto (P-PO₄-3, mg/L), Fósforo Total (PT, mg/L), Nitrato (NO₃, mg/L), Nitrito, (NO₂, mg/L), Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄, mg/L), Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT, mg/L), Nitrógeno Disuelto (ND, mg/L) y Nitrógeno Total (NT, mg/L). Esto se llevó a cabo acorde a lo establecido en la Norma Secundaria de Calidad de Ambiental (NSCA) para la protección de las aguas continentales del Lago Villarrica, y según las metodologías de análisis establecidas en el programa de medición y cumplimiento de la calidad ambiental elaborado por la SMA (Res. 671/2016) en un laboratorio acreditado por la NCh. 17025 (ANEXO 6. Certificados de Acreditación). En terreno, los parámetros como temperatura, pH, conductividad, turbiedad y oxígeno disuelto, se levantaron utilizando dos equipos multiparamétricos *Hanna Instruments 9828* y *9829*.

Las incertidumbres de los métodos empleados para el análisis de los parámetros se indican en la Tabla 2. Con respecto a las incertidumbres no informadas, se debe en un

caso por no tener un patrón para calcularla por el método de caja negra que es el método oficial del Laboratorio contratado (ANAM).

Para el caso del NT no se puede calcular debido a que se determina por cálculo y no es un análisis.

Tabla 2. Análisis de sensibilidad de los métodos analíticos.

Análisis	Método	Incertidumbre
Clorofila a	SM 10200-H2c (2012)	No se encuentra calculada al no existir patrón
Fósforo P	SM 4500-P E(2005)	2.5%
Fósforo Disuelto	SM 4500P E (2005)	2.5%
Nitrato	SM 4500 NO3E (2005)	0.57%
Nitrito	ME-17-2007	2.88%
Nitrógeno Amoniacal	SM 4500-NH3 F (2005)	0.80%
Nitrógeno Total	Cálculo	Se determina por cálculo de otros parámetros
NKT	SM 4500-Norg B-C/NH3-F	3.7%

La Figura 2 presenta la distribución espacial de las muestras en el área de estudio. En algunos puntos sólo se caracterizó el caudal de los cauces aplicando un código en el mapa con la letra “Q-n”.

La Figura 3 presenta un esquema topológico del área de estudio, indicando puntos de muestreo (M-n, B-n), ubicación de fuentes puntuales como Pisciculturas, PTAS Pucón y AS Curarrehue, puntos de aforo extras levantados en terreno (Q-n), estaciones de caudal DGA (Q) y estaciones meteorológicas de temperatura y precipitación (T/PP).

Tabla 3. Fechas de campañas de monitoreo año 2018.

Muestra	Mes	1	2	3	4	5	6	7
		Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1 Tipo M			Mar-10	-	-	-	Lun-26	-
			Mié-11	-	-	-	Mar-27	-
2 Tipo B			Mar-10	-	-	-	Lun-26	-
			Mié-11	-	-	-	Mar-27	-

Nota: **M** corresponde a muestras en el borde Lago y **B** corresponde a muestras de en condiciones de borde (ambas durante 2 campañas).



Tabla 4. Muestréos según día y parámetros considerados.

Punto de muestreo	Fecha muestreo	Parámetros	Observación
B-1, B-3, B-4, B-7, B-8, B-9, B-10, B-11, B-12, B-13, B-14, B-15, B-16, B-19, B-20	10-jul-2018	T, pH, Cond, OD, NO ₃ -, NO ₂ -, N-amoniacal, Nitrógeno Total Kjeldahl,	Campaña inicial
M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6, M-7, B-2nuevo, B-5, B-6, B-17, B-21	11-jul-2018	N-disuelto, Nitrógeno total, P-disuelto, Fósforo total, Chl-a	
M-1, M-3, M-4, M-6, M-7, B-4, B-5, B-7, B-8, B-9, B-10, B-11, B-12, B-13, B-14, B-15, B-16, B- 20, B-19nuevo	26-nov-2018	T, pH, Cond, OD, NO ₃ -, NO ₂ -, N-amoniacal, Nitrógeno Total Kjeldahl,	Campaña final
M-2, M-5, B-1, B-2, B-3, B-6, B-17, B-21	27-nov-2018	N-disuelto, Nitrógeno total, P-disuelto, Fósforo total, Chl-a	

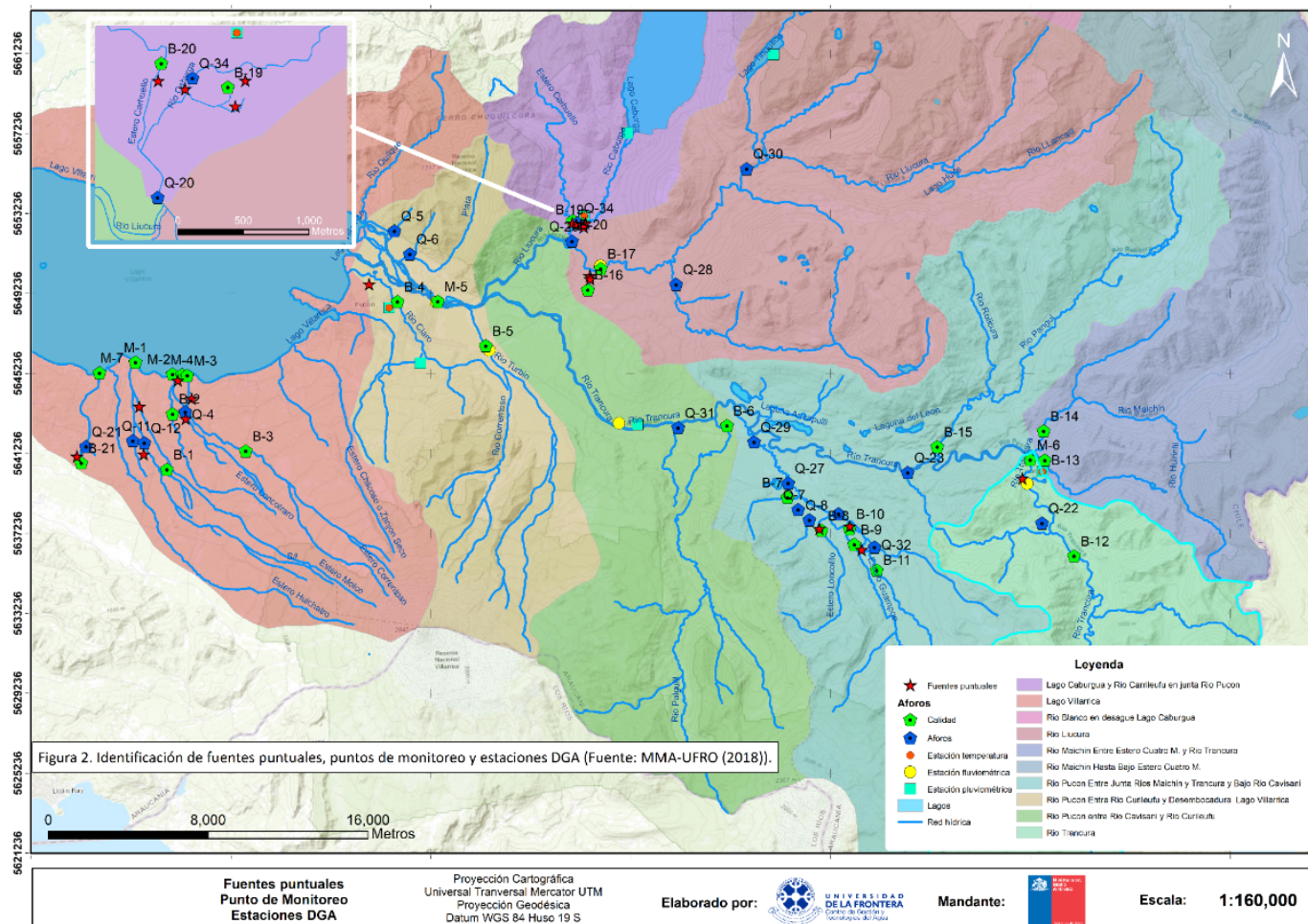


Figura 2. Identificación de fuentes puntuales, puntos de monitoreo y estaciones DGA (Fuente: MMA-UFRO (2018)).



Actividad 3.1.3. Muestreo y determinación de nutrientes acorde a lo establecido en la Norma Secundaria (DS N°19/2013).

Los parámetros físico-químicos considerados en cada muestreo son: N-NO₃, N-NO₂, N-NH₄, NTK, P-PO₄³⁻, P-total, Clorofila-a, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura.

Además, cada río o estero fue aforado respecto al flujo detectado al momento del muestreo en cada uno de los puntos considerados.

Las mediciones fueron realizadas por laboratorio acreditado bajo la Norma Chilena 17025 y siguiendo las metodologías de medición que establece el Programa de Medición del cumplimiento de la calidad ambiental del Lago Villarrica elaborado por la SMA.

La estrategia de muestreo fue previamente consensuada con la contraparte técnica del estudio.

Actividad 3.1.4. Validación y comparación de resultados de muestreo con estudios anteriores en la cuenca.

Los datos levantados de los muestreos realizados en este estudio, serán comparados y complementados con la información de estudios anteriores en la zona y con el posible levantamiento de datos provenientes de otras campañas paralelas a este estudio (mismo período o contemporáneo), realizadas por otros organismos, públicos y privados, involucrados en la zona de estudio.

3.2 (OE 2) Identificación y análisis de propuestas de medidas.

Actividad 3.2.1. Realización de una revisión del estado del arte en los estudios actuales del Lago Villarrica, y en experiencias a nivel nacional e internacional en medidas para reducir las cargas de Nitrógeno y Fósforo de fuentes puntuales y difusas.

Se identificarán y propondrán medidas de mitigación consensuadas con la contraparte técnica durante reuniones tanto con instituciones públicas vinculadas a la temática hídrica como con actores interesados de la cuenca.

Actividad 3.2.2. Realización de talleres de trabajo para la identificación de medidas de reducción de la carga de nutrientes hacia el Lago Villarrica.

Con el fin de identificar medidas de reducción de la carga de Nitrógeno y Fósforo provenientes de fuentes puntuales y difusas, para ser implementadas en la cuenca del Lago Villarrica, se desarrollarán, en conjunto con la contraparte técnica, al menos 2 talleres de trabajo en la ciudad de Temuco, en dependencias de la Universidad de La Frontera. Estos talleres estarán compuestos por representantes de la contraparte técnica y actores locales clave en la cuenca del Lago Villarrica.

La estrategia de trabajo está compuesta por tres etapas, siendo la primera un taller para la identificación y análisis de medidas (Figura 4), el cual consiste en realizar mesas de trabajo con todos los actores involucrados en la toma de decisión y gestión de actividades industriales y política de la cuenca del Villarrica. La segunda etapa consiste en un trabajo de sistematización de las medidas evaluadas y priorizadas en el taller 1, esto se realizará de forma particular y en conjunto con la SMMA Araucanía y con cada actor pertinente involucrado (sector privado o públicos) según corresponda, buscando establecer la mejor estrategia de implementación, considerando aspectos tales como costos, tiempo y beneficio. La tercera etapa consiste en un último taller de validación (taller 2), donde se presentarán las medidas a los actores relevantes en la toma de decisión y gestión de actividades industriales y política de la cuenca del Villarrica, para recoger últimas impresiones y observaciones a la estrategia de implementación propuesta en la etapa 2 (de sistematización).

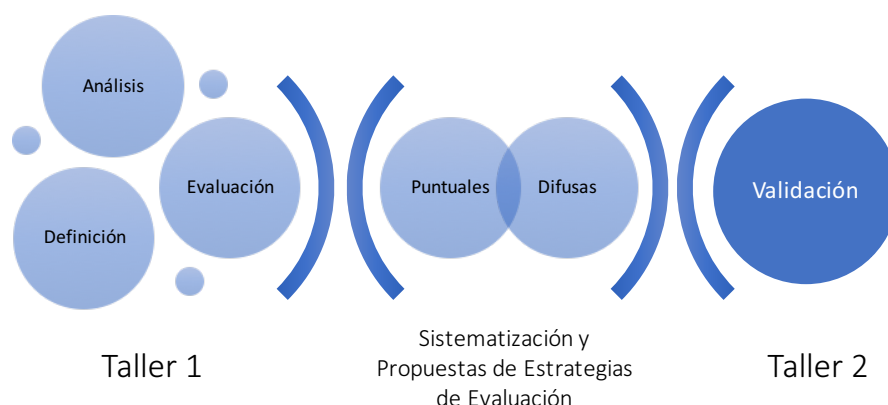


Figura 4. Resumen de proceso para levantamiento, sistematización y validación de medidas para el Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

Actividad 3.2.3. Construcción de un dossier sistematizado y priorizado de medidas de reducción de carga de nutrientes validados por la contraparte técnica, tanto para fuentes puntuales como difusas.

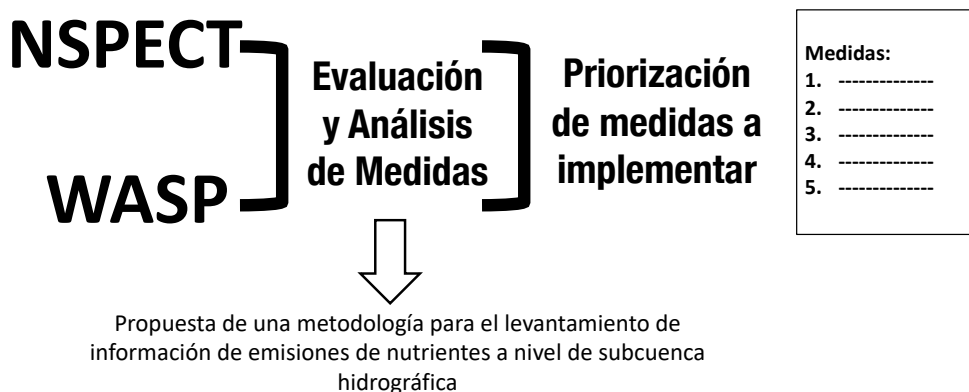
Se establecerá un dossier definitivo de medidas propuestas para la implementación de un plan de descontaminación del Lago Villarrica, el cual quedará a disposición de la SMMA para su posterior evaluación ciudadana.

3.3 (OE 3) Evaluación de medidas para la reducción de la carga de nutrientes.

Actividad 3.3.1. Evaluación del conjunto de medidas de reducción definidas en la Actividad 3.2.3.

Se realizará un proceso de modelación matemática siguiendo la metodología propuesta por MMA-UFRO (2018) para la estimación de carga en cauces aportantes mediante el software US EPA WASP y una nueva metodología basada en la utilización del Software N-SPECT para la evaluación de fuentes difusas. A esto se sumará la información de las nuevas campañas de monitoreo, y las posibles nuevas fuentes de información provenientes de otras campañas realizadas en el mismo período de tiempo en el que se ejecuta este estudio (año 2018).

Una vez determinadas las medidas de reducción de nutrientes más importantes y sus estrategias de evaluación validadas por la mesa técnica en el taller 2, se procederá a su evaluación final utilizando modelos de transporte de nutrientes para fuentes puntuales y difusas según las dos metodologías (ver Figura 5) recién propuestas US EPA WASP según MMA-UFRO (2018) y N-SPECT. Esto permitirá, en la medida de lo posible, priorizar las medidas según su impacto en la reducción, y a la vez será posible establecer una metodología para el levantamiento de información de emisiones de nutrientes a nivel de subcuenca hidrográfica, de carácter estándar y periódico según las necesidades para la continua evaluación en el tiempo de las medidas que se establezcan en este estudio.



30

Figura 5. Resumen de proceso para levantamiento, sistematización y validación de medidas para el plan de descontaminación del Lago Villarrica.

La metodología MMA-UFRO (2018) para modelar y evaluar resultados, consiste en (1) la identificación de todas las fuentes puntuales dentro del área de estudio y levantamiento de toda información pública relevante, luego (2) se procede a la selección de todos los ríos, esteros y cada tributario (reciba descargas o no desde una fuente puntual) que signifiquen un aporte relevante de flujos de agua y masa. Una vez establecidos los ríos y esteros (3) se procede a la selección de los puntos de monitoreo de caudales y calidad

que representen mejor el transporte y flujo en el tiempo. Posterior al levantamiento de información en terreno, de pisciculturas y segmentación de los ríos y esteros, (4) se procede a la modelación con el software US EPA WASP. (5) Los resultados de la modelación son comparados con la toma de muestras realizadas en el tiempo en los puntos de control ubicados justo en la salida al Lago, de esta forma, si los resultados del modelo muestran incoherencias, se procede a evaluar posibles errores en las bases de datos o errores de programación. De las muestras tomadas en terreno, el laboratorio ANAM entrega datos del P-disuelto, P-total, Nitrato, Nitrito, N-amoniaco, NKT y NT. El modelo WASP, a su vez, trabaja con las especiaciones de Nitrógeno y Fósforo. Para el caso del cálculo del NT modelado, se introducen al modelo WASP los datos del N-NH₄, N-NO₃ y N-org. Para obtener el PT modelado, se introducen al modelo P-PO₄-3 y P-org. Luego los valores modelados, se contrastan con los valores reportados de NT y PT del laboratorio ANAM para los puntos de control M-n.

Una vez establecida la existencia de coherencia entre los valores modelados y los valores del muestreo realizado, (6) se procede al cálculo de la diferencia entre la carga de nutrientes aportada por la fuente puntual y lo calculado por WASP, la diferencia permite determinar la carga propia del río o estero independiente de lo aportado por las fuentes puntuales. Esta carga propia del cauce viene de los valores levantados del muestreo en los puntos identificados como condición de borde. Los puntos establecidos como condición de borde se pueden definir como aquellos puntos que se encuentran aproximadamente a 1 Km aguas arriba de cualquier fuente puntual en el río o estero, diferenciando, de esta manera, el aporte propio de la cuenca del aportado por las fuentes puntuales, ver Figura 6.

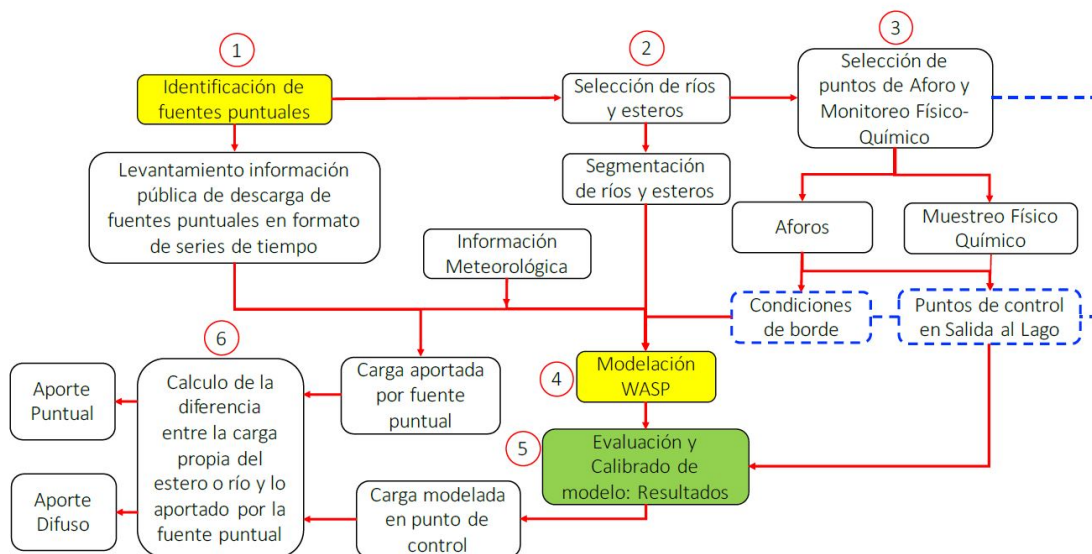


Figura 6. Esquema del proceso utilizado para modelar el transporte de nutrientes en ríos y esteros utilizando el software US EPA WASP (Elaboración propia).

El modelo N-SPECT (Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool) es una herramienta desarrollada por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos. Este programa es de libre acceso, el cual, funciona como extensión de Map Window Gis.

Esta herramienta combina información del ambiente físico (elevación, inclinación, suelos, precipitación y cobertura terrestre) para derivar estimaciones de fuentes de descarga, erosión y contaminantes (Nitrógeno, Fósforo, y Total de Sólidos Suspendedos) a través del terreno, así como también calcular la acumulación de descarga, concentración de sedimentos, contaminantes en el terreno (ésta es una función típica), corrientes y redes fluviales o calcular “efectos locales”, es decir cuánto sedimento, contaminantes, o escorrentía provienen de cada celda de la retícula (Burke & Sugg, 2006).

N-SPECT requiere de cinco capas, que incluye Land Cover, donde se clasifica el material físico que existente sobre la superficie del suelo; Modelo Digital de Elevación, que es una representación 3D de las elevaciones del terreno; Suelo, que corresponde a un catastro; Precipitación, la cual es anual; Factor de erosividad de la descarga pluvial (Factor-R), el cual representa el promedio anual de los efectos erosivos que tienen las tormentas. Todas estas capas son ingresadas al modelo de forma progresiva. La Figura 7 presenta un esquema del proceso antes descrito, donde el Factor LS, corresponden al factor de inclinación de la pendiente y el largo, que ajusta las tasas de erosión en base a la topografía; el Factor K, que corresponde a la capa de erodabilidad del suelo, la cual, representa la susceptibilidad del suelo a la erosión y las lluvias y el Factor R que es el factor de erosividad pluvial, que representa el promedio anual de los efectos erosivos que tienen las tormentas, y la Fórmula universal USLE/RUSLE corresponde a:

$$\text{Promedio anual de pérdida de suelo} = R \times K \times L \times S \times C$$

Donde:

R: Factor de erosividad de la descarga pluvial

K: Factor de erodabilidad del suelo

L x S: Factor de inclinación de la pendiente y largo

C: Factor de la cobertura terrestre

Finalmente, un análisis de los resultados de los escenarios modelados permitirá definir las reducciones potenciales y alcanzables a mediano y largo plazo, lo cual permitirá contribuir a la definición del **Anteproyecto del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica**.

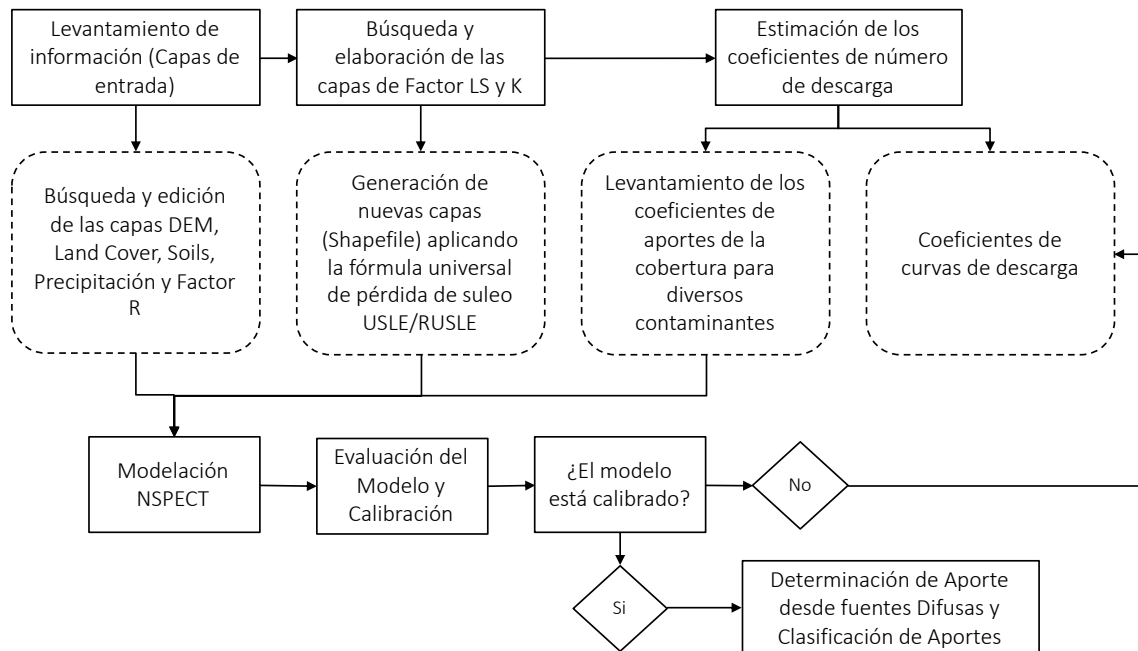


Figura 7. Esquema del proceso utilizado para modelar el transporte de nutrientes desde fuentes difusas utilizando el software N-SPECT (Elaboración propia).

Actividad 3.3.2. Diseño de una propuesta metodológica para el levantamiento de información de emisiones de nutrientes a nivel de subcuenca hidrográfica, la cual incorpore la totalidad de los aportes de fuentes puntuales y difusas.

Se realizará una revisión de casos de estudios en otras cuencas a nivel nacional e internacional, y se propondrá una metodología de levantamientos, sistematización y evaluación de la información a nivel de subcuenca. Esto se hará en coherencia con los sistemas de información y modelación desarrollados en los últimos estudios hechos por MMA-UCT (2012) y MMA-UFRO (2018), con la finalidad de complementar o mejorar la representación de fuentes puntuales y difusas de las metodologías actuales, indicando mejoras al trabajo actual.



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

RESULTADOS

Objetivo Específico 1

Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en cauces aportantes al Lago Villarrica.



4. RESULTADOS (OE 1)

4.1 Cauces aportantes, nuevas fuentes puntuales y muestreo.

Los cauces tributarios son todos aquellos ríos, esteros y canales que desembocan en ríos de mayor envergadura. Para este trabajo se estudió todos los ríos, esteros y tributarios que se encuentren en la ribera sur del Lago Villarrica, que tengan como afluente al Lago Villarrica y que se encuentren intervenidos por la descarga de una fuente puntual, los cuales abarcarán desde el estero Lefún o Conquil hasta el río Pucón o Minetúe.

Se estableció la ribera sur debido a que los cauces ya nombrados se encuentran posiblemente afectados por la mayoría de las fuentes puntuales que se ubican a lo largo de la cuenca del Lago Villarrica, entre las fuentes puntuales se encuentran las pisciculturas, PTAS de Pucón y las aguas servidas de Curarrehue.

Para este estudio se continúa con la misma selección de 27 puntos de muestreo repartidos en la cuenca del Lago Villarrica con representación de los cauces estratégicos establecidos por MMA-UFRO (2018). La

Tabla 5 presenta el resumen actualizado de las empresas piscícolas ubicadas en la cuenca, acorde a información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura de la región de La Araucanía. Por otro lado, en este estudio se han incorporado las actividades turísticas con características de emisión puntual como son las piscinas termales. La Tabla 6 muestra un resumen de los centros termales sistematizados en la cuenca, donde fueron detectadas 19 empresas. La Figura 8 presenta una distribución actualizada, la cual incluye las actividades turísticas relacionadas a termas, también la Figura 9 presenta una actualización del modelo polilineal del área de estudio, indicando los puntos de muestreo (M-n, B-n), ubicación de fuentes puntuales (P-n), puntos de aforo extras levantados en terreno (Q-n), estaciones de caudal DGA (Q) y estaciones meteorológicas de temperatura y precipitación (T/PP) y centros termales (T-n).

Tabla 5. Identificación de pisciculturas en la cuenca del Lago Villarrica.

Código RPM (1)	Código RNA (2)	ID	Nombre de la Empresa	Nombre de Fantasía	Coordenadas ⁽³⁾		Operativa ⁽⁴⁾	Inicio de ⁽⁴⁾ Actividades
					X	Y		
238	90050	P1	Soc. Fundo La Cascada Ltda. / Granja Marina Tornagelones S.A.	Los Chilcos	235318	5642971	Si	1993
2445	90085	P2	Salmones Multiexport S.A.	Molco	233215	5641202	Si	2001
2955	90055	P3	Trusal S.A./ Aquagen Chile S.A.	Loncotraro	234923	5644894	Si	1992
2877	90112	P4	Soc. Comercial Agrícola y Forestal Nalcahue Ltda.	Chehuilco	232997	5643583	Si	1996
4704	90030	P5	Soc. Fundo La Cascada Ltda. / Granja Marina Tornagelones S.A.	La Cascada	235616	5643981	Si	1998
3220	90069	P6	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Quetroleufu	255549	5650113	Si	1999
2861	90060	P7	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Caburgua I	254866	5652694	Si	1999
-	90059	P8	Piscícola Huililco Ltda.	Ojos del Caburgua	255325	5652759	Si	1996
	90145	P9	Enrique Castillo Colihueque	Carileufu	255295	5652547	No	2011
322	90068	P10	Pacific Star / Trusal S.A.	Quimeyco	254660	5652757	Si	2000
114	90118	P11	Exportadora Los Fiordos Ltda	Curarrehue	268561	5637590	Si	1989
4495	90062	P12	Exportadora Los Fiordos Ltda	Catripulli	269148	5636423	Si	1997
	90064	P13	Inversiones Selknam SPA	Rinconada	267034	5637473	No	1997
2854	90089	P14	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Caburgua II	255566	5649965	Si	2002
-	90139	P15	Ricardo Massmann Schilling	Alto Lefún	229876	5641089	Si	Sin información

⁽¹⁾ Información proporcionada por la Superintendencia del Medio Ambiente, en septiembre de 2018. Las pisciculturas operativas en el 2017 cuentan con código RPM; el guión (-) refleja que no se encontró código; las que tienen este campo vacío no están operativas para ese periodo.

⁽²⁾ Información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura/Secretaría Ministerial del Medioambiente región de La Araucanía, en mayo de 2018.

⁽³⁾ Sistema de Coordenadas WGS 84 UTM Huso 19 Sur. Tomadas de imágenes satelitales en GIS en mayo 2017.

⁽⁴⁾ Información tomada las declaraciones de impacto ambiental (DIAs) alojadas en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), información consultada en agosto de 2018.

Tabla 6. Identificación de termas en la cuenca del Lago Villarrica.

Nº	ID	Nombre de la Terma ^(1 y 2)	Coordenadas ⁽²⁾		Operando comercialmente ⁽¹⁾	Comuna ⁽¹⁾	Temp. agua (°C) ⁽²⁾	Tratamiento de aguas servidas ⁽¹⁾
			X	Y				
1	T1	Termas Pucón Indómito	265687	5655870	Si	Pucón	-	S/I
2	T2	Termas Peumayen	266653	5655472	Si	Pucón	-	S/I
3	T3	Termas Quimey-co	267215	5655458	Si	Pucón	51	Fosa séptica
4	T4	Termas Huife	270644	5654591	Si	Pucón	55-60	S/I
5	T5	Termas de Los Pozones	271677	5654805	Si	Pucón	40	S/I
6	T6	Termas de Liucura	259211	5650763	Si	Pucón	29	S/I
7	T7	Termas de Minetúe	265441	5643054	Si	Pucón	36-46	S/I
8	T8	Termas Trancura	267736	5641960	Si	Pucón	-	S/I
9	T9	Termas Montevivo	267882	5642005	Si	Pucón	-	Fosa séptica
10	T10	Termas San Luis	268089	5642037	Si	Pucón	24-45	Fosa séptica
11	T11	Termas de Palguin	260299	5632690	Si	Pucón	35-46	Fosa séptica
12	T12	Aguas Medicinales del Toro	269330	5641559	S/I	Pucón	17	S/I
13	T13	Termas Río Blanco	274038	5668213	S/I	Pucón	49	S/I
14	T14	Termas de Maichin	277046	5641707	No	Curarrehue	30	Uso familiar esporádico
15	T15	Termas de Ancamil	278122	5642699	No	Curarrehue	37	Sistema particular de alcantarillado (25 pax/mes)
16	T16	Termas de Panqui	281578	5652306	Si	Curarrehue	48	Sistema particular de alcantarillado (40 pax/mes)
17	T17	Termas Rinconada2	270400	5633400	No	Curarrehue	26	S/I
18	T18	Termas Rinconada1	270500	5633310	No	Curarrehue	40	S/I
19	T19	Termas Angostura	272555	5640738	Si	Curarrehue	-	Sin sistema particular alcantarillado (100 pax/mes)

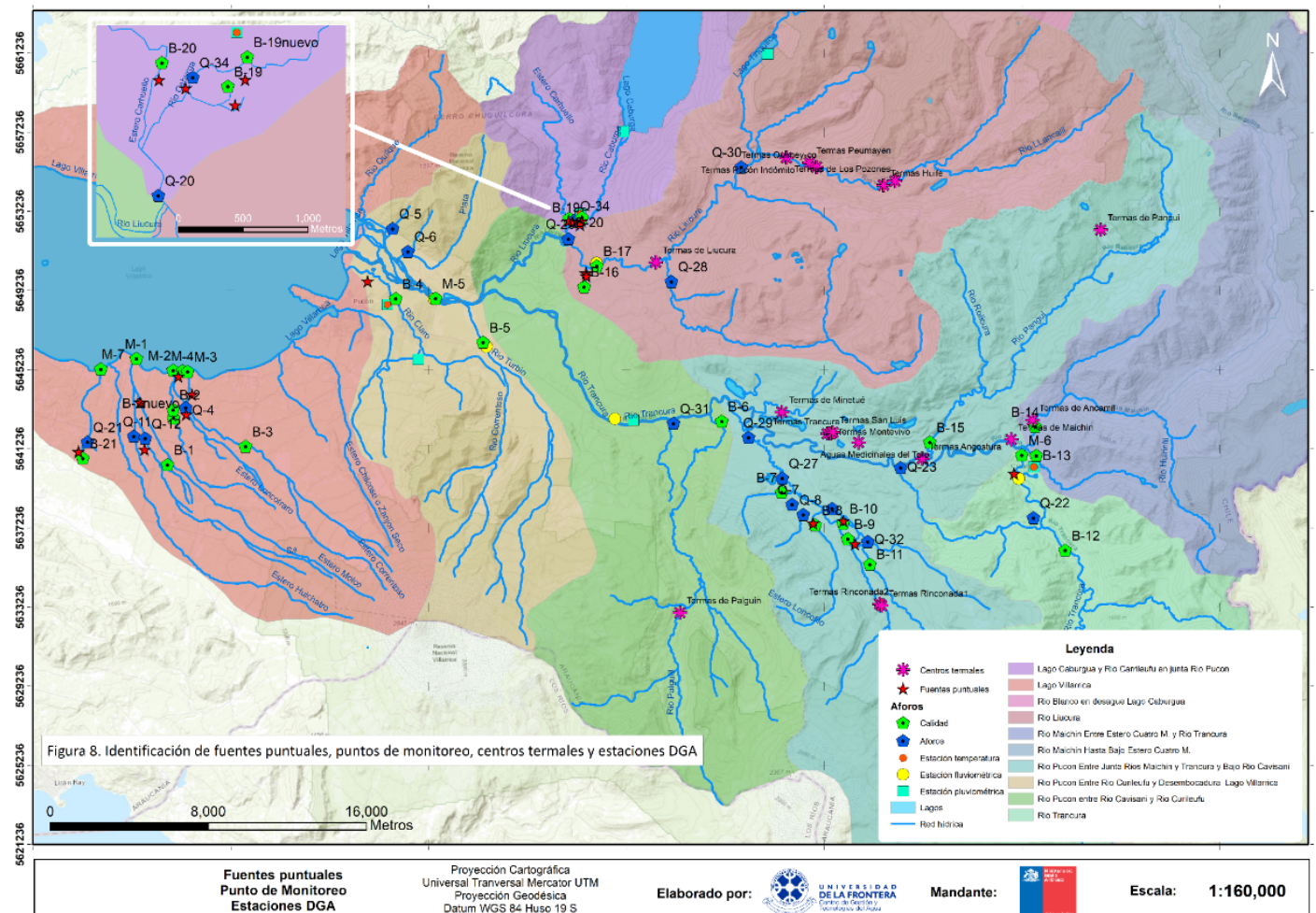


Figura 8. Identificación de fuentes puntuales, puntos de monitoreo, centros termales y estaciones DGA. (Fuente: MMA-UFRO (2018)).

El muestreo se realizó en 27 puntos diferentes de la cuenca, 20 muestras fueron recolectadas en situaciones de borde (Tipo "B"), entendiéndose como borde aproximadamente 1 km aguas arriba desde un punto de descarga de alguna fuente puntual (pisciculturas), establecidos por el estudio de MMA-UFRO (2018). Igualmente, se consideraron 6 puntos que descargan de forma directa al Lago Villarrica (Tipo "M") y uno aguas abajo de los 7 emisarios de Curarrehue (M-6).

La información levantada en terreno y de los análisis de laboratorio se puede observar en la Figura 10 y Figura 12.

La Figura 10 presenta información relacionada al flujo de los diferentes ríos estudiados, donde es posible observar que los ríos Trancura (M5) en su desembocadura al Lago Villarrica y el mismo Trancura a la altura de Curarrehue (M6) son los puntos que presentan el mayor flujo de agua durante el año. Por otro lado, la temperatura del agua, en todas las desembocaduras estudiadas, fluctúa entre los 8 y 12°C aproximadamente (Figura 10b).

En el caso de Trancura (M6), la conductividad y pH muestran una alteración durante el mes de diciembre de 2017 (Figura 10c-d), esto se pudo deber a algún tipo de descarga o pulso en los emisarios del poblado de Curarrehue. Por otro lado, esta singularidad es coincidente con un aumento de la concentración de N-NO₃ en la misma fecha en M6 (ver Figura 12c').

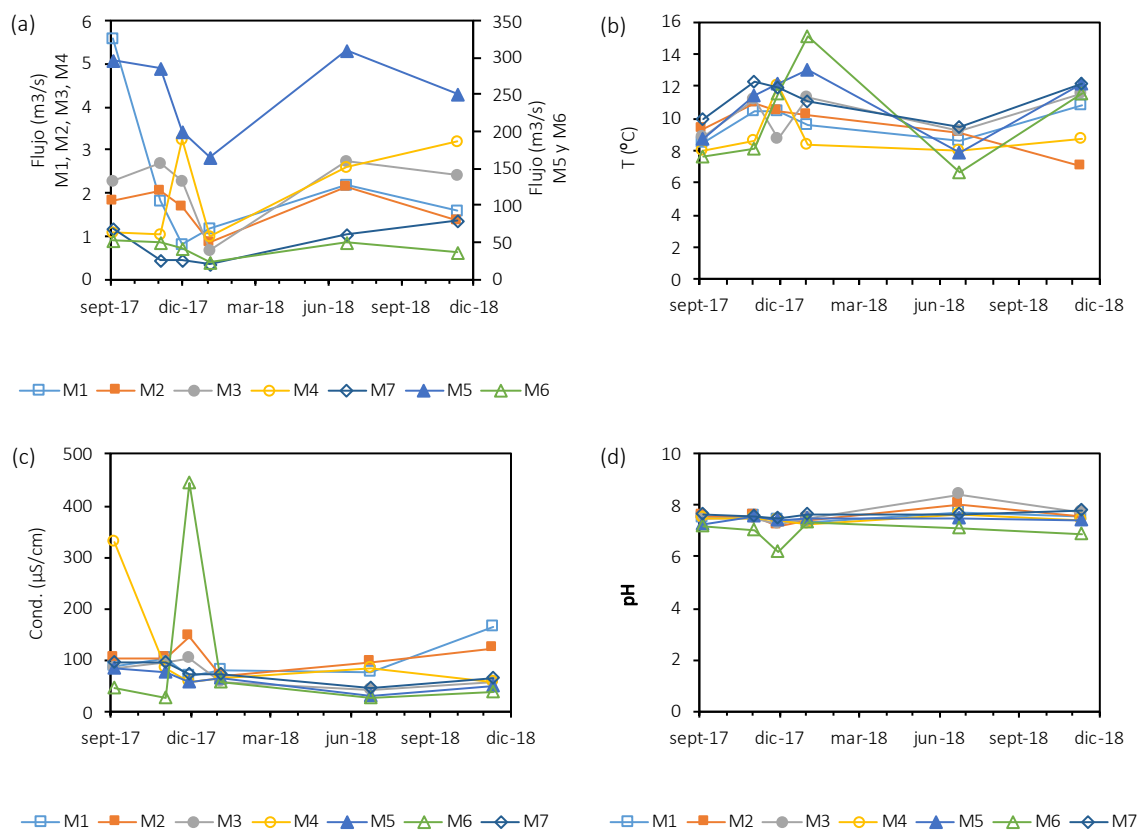


Figura 10. Tendencias de (a) Flujos, (b) Temperatura, (c) Conductividad y (d) pH medidos en puntos de muestreo tipo M.

La Figura 12 presenta un resumen de los muestreos realizados en los puntos M (desembocaduras al Lago) desde septiembre del 2017 hasta el último muestreo realizado en noviembre del 2018 (del presente estudio).

Respecto de los valores fósforo inorgánico y fósforo total (Figura 12a y b), el estero Molco (M1) es el que mayores concentraciones presenta, el resto de los ríos y esteros, en apariencia, se comportan de forma similar. Este fenómeno se replica para el resto de los parámetros relacionados al nitrógeno. El exceso de concentración puede deberse a la presencia de dos plantas piscícolas en el cauce (P. Chehuilco y P. Molco, ver Tabla 5) y a la corta distancia existente entre las operaciones de las dos plantas y el punto de control en M1.

Respecto a la carga de fósforo y nitrógeno en ton/día (Figura 12), el Río Trancura (M5) es el que más nutrientes aporta desde la cuenca del Lago Villarrica, esto se debe al mayor flujo de agua en el cauce, esto apantalla el aporte de los otros ríos y esteros estudiados, por lo que se ha agregado una segunda opción gráfica eliminando el Río Trancura en el punto de control M5.

Respecto a los aportes de fósforo total y ortofosfato, a parte del Río Trancura en M5, los puntos de control M6 (Trancura a la altura de Curarrehue) y M1 (Estero Molco) son los que más aportan en carga diaria (Figura 12 a' y b'). En el caso de Molco (M1), este aporte está asociado a la alta concentración de fósforo presente en el cauce, y en el caso de Trancura en Curarrehue (M6) se debe al alto flujo de agua en ese punto.

Respecto a la carga de Nitrógeno, Trancura en Curarrehue (M6) es el que mayor aporte presenta luego del Trancura a la altura de Quelhue (M5), le sigue Molco (M1).

La Tabla 7 muestra un compilado de todos los resultados obtenidos en los muestreos de calidad y aforos realizados en MMA-UFRO (2018) y en el presente estudio. Valores con (*) representan valores atípicos u *outlier* como es el caso de la clorofila en M1 para el día 26-11-2018, este valor fue incluido ya que luego de una corroboración con el laboratorio (ANAM) se concluye que no corresponde a un error de muestreo, por lo cual el valor debe ser reportado. El Nitrógeno Disuelto se obtiene de la suma de N-nitrato, N-nitrito y N-amonio, todos reportados por laboratorio, esto según lo indicado en el D.S. 19/2013 Tabla 2.

Adicionalmente, fue necesario realizar aforos de ríos y esteros que permitieran cerrar de mejor manera el balance hídrico de las subcuencas estudiadas, para ello, a cada punto se le asignó la denominación "Q", sigla útil para denominar la variable Caudal. La información levantada en los puntos Q-n (control de aforos) puede ser observada en la Tabla 8. Los aforos se realizaron en 19 puntos de control de la cuenca a lo largo de las 6 campañas de monitoreo (4 del estudio realizado por MMA-UFRO (2018) y 2 nuevos en el presente estudio). Para el caso de Q-32 y Q-34, los caudales fueron obtenidos mediante cálculo de diferencias matemáticas debido a que eran inaccesibles.

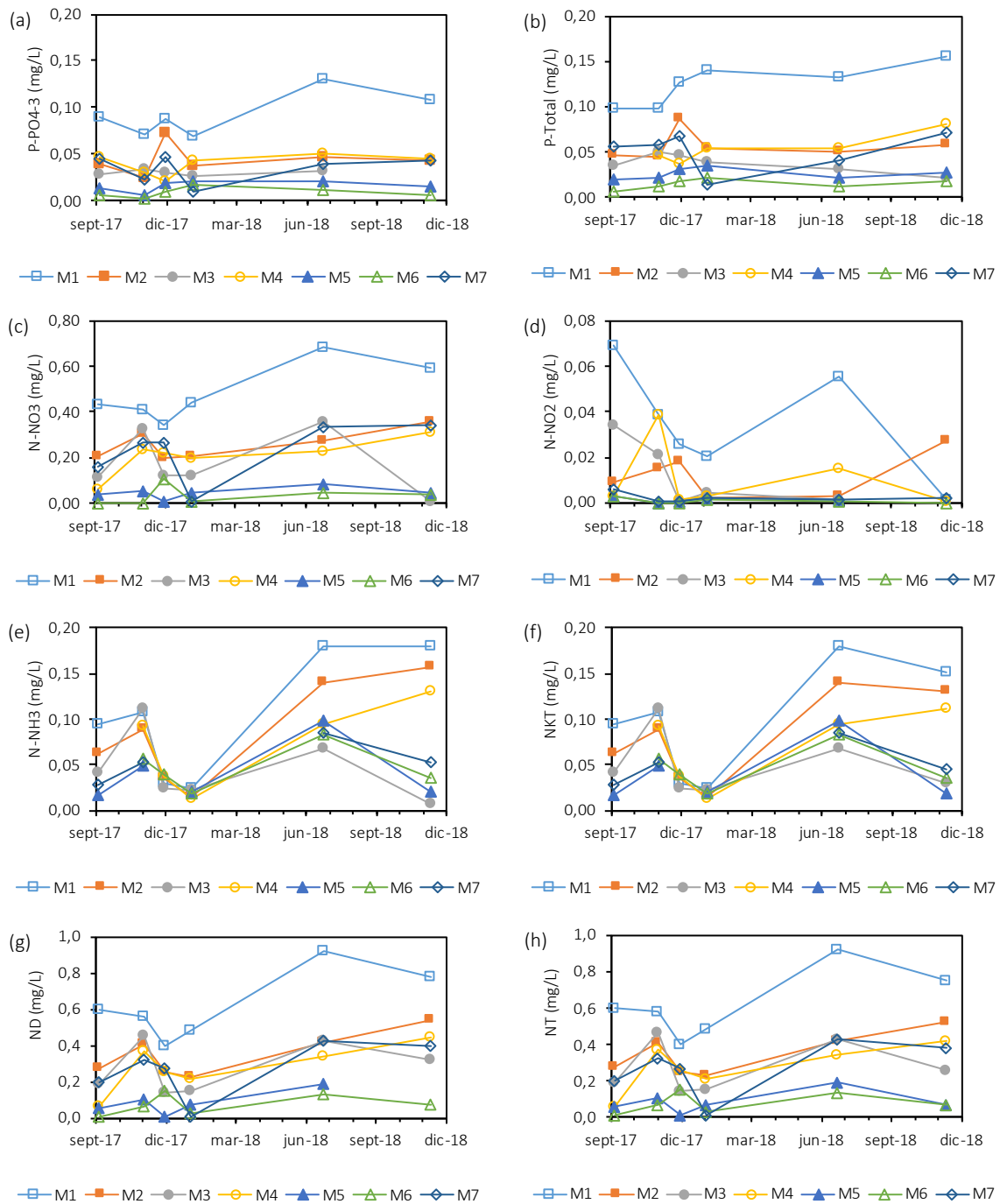


Figura 11. Tendencias de concentración en puntos de muestreo tipo “M”, correspondientes a ríos y esteros con descarga directa al Lago Villarrica, a excepción del punto M6 que corresponde a un punto aguas abajo de Curarrehue.

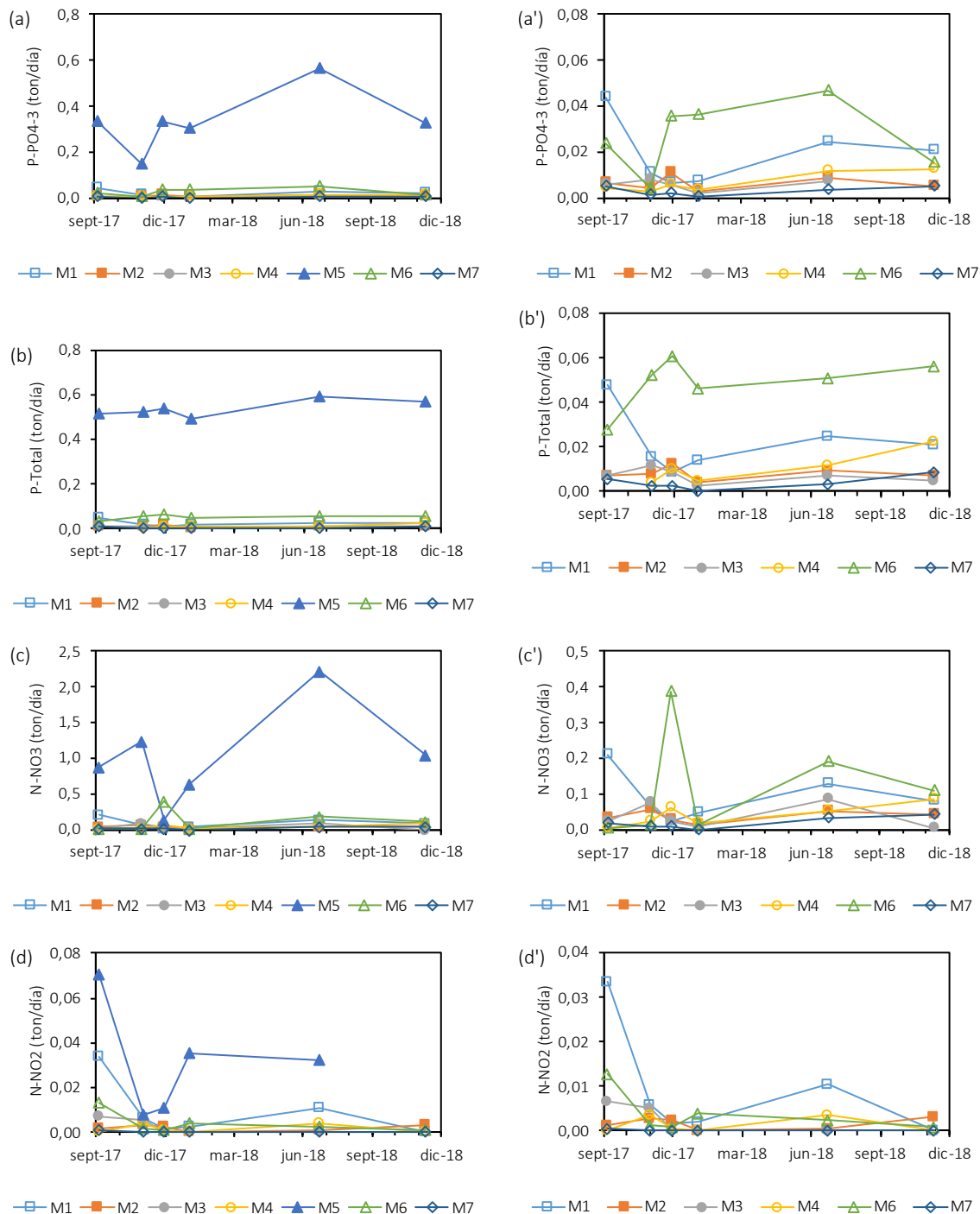
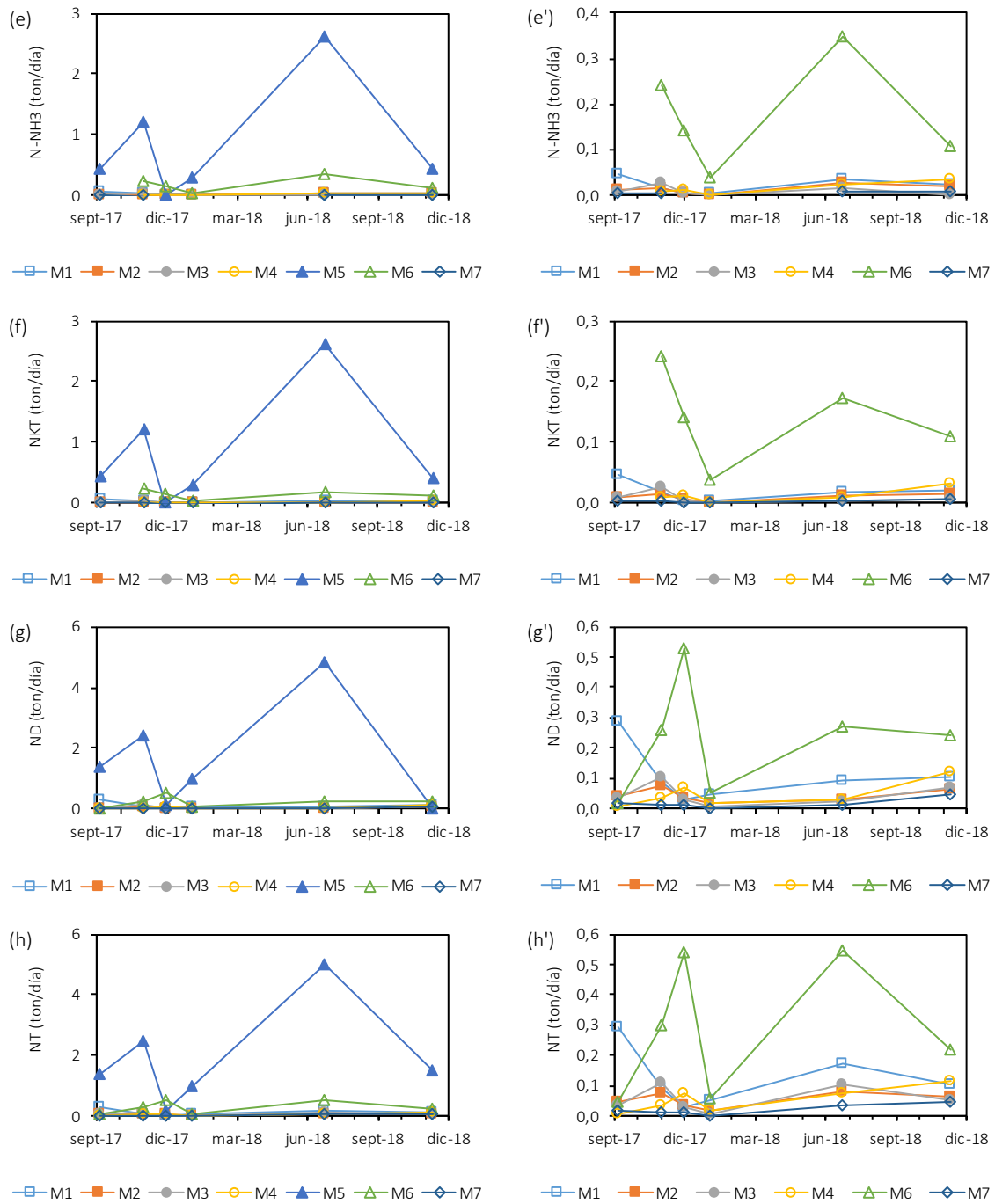


Figura 12. Tendencias de la carga de nutrientes en puntos de muestreo tipo “M”, correspondientes a ríos y esteros con descarga directa al Lago Villarrica, a excepción del punto M6 que corresponde a un punto aguas abajo de Curarrehue.



Continuación de Figura 12. Tendencias de la carga de nutrientes en puntos de muestreo tipo “M”, correspondientes a ríos y esteros con descarga directa al Lago Villarrica, a excepción del punto M6 que corresponde a un punto aguas abajo de Curarrehue.

Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
M-1	26-09-17	5.62	8.54	7.5	89.00	9.81	0.090	0.098	1.926	0.226	0.095	0.095	0.599	0.599	-
	22-11-17	1.82	10.48	7.55	105.00	8.47	0.071	0.097	1.825	0.127	0.107	0.107	0.558	0.577	-
	19-12-17	0.82	10.51	7.41	70.00	10.29	0.087	0.126	1.508	0.084	0.030	0.030	0.396	0.400	-
	23-01-18	1.18	9.56	7.33	79.00	10.10	0.069	0.140	1.960	0.067	0.023	0.023	0.486	0.487	-
	11-07-18	2.17	8.63	7.70	76.30	0.36	0.130	0.132	3.040	0.181	0.180	0.180	0.922	0.927	0.08
	26-11-18	1.58	10.79	7.60	165.00	7.05	0.108	0.156	2.635	0.006	0.180	0.151	0.737	0.750	(*) 33.79
M-2	26-09-17	1.84	9.39	7.54	102.00	9.48	0.039	0.046	0.907	0.030	0.061	0.061	0.275	0.275	-
	22-11-17	2.07	10.97	7.58	103.00	8.41	0.025	0.044	1.343	0.049	0.089	0.089	0.407	0.410	-
	19-12-17	1.70	10.47	7.21	146.00	10.65	0.072	0.086	0.873	0.059	0.035	0.035	0.250	0.252	-
	23-01-18	0.85	10.15	7.45	70.00	9.34	0.038	0.053	0.923	0.007	0.015	0.015	0.226	0.226	-
	11-07-18	2.16	9.12	8.04	96.10	0.34	0.047	0.050	1.202	0.010	0.140	0.140	0.415	0.418	0.20
	27-11-18	1.36	7.05	7.60	124.00	7.91	0.042	0.058	1.580	0.090	0.157	0.131	0.506	0.520	0.14
M-3	26-09-17	2.26	8.89	7.53	84.00	9.71	0.027	0.035	0.500	0.113	0.041	0.041	0.188	0.188	-
	22-11-17	2.70	11.23	7.49	96.00	8.34	0.034	0.050	1.432	0.070	0.111	0.111	0.456	0.466	-
	19-12-17	2.26	8.74	7.24	105.00	11.10	0.030	0.046	0.524	0.003	0.023	0.023	0.142	0.145	-
	23-01-18	0.68	11.34	7.53	56.00	9.69	0.026	0.039	0.555	0.015	0.022	0.022	0.152	0.154	-
	11-07-18	2.74	9.22	8.42	42.00	0.29	0.031	0.030	1.576	0.005	0.067	0.067	0.425	0.429	0.14
	26-11-18	2.41	11.56	7.70	58.00	7.30	0.022	0.038	1.015	0.006	0.030	0.033	0.254	0.260	0.64

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
M-4	26-09-17	1.10	7.94	7.52	328.00	10.00	0.046	0.350	0.254	0.009	<0.009	<0.009	0.060	0.060	-
	22-11-17	1.06	8.66	7.47	85.00	9.20	0.030	0.046	1.033	0.126	0.093	0.093	0.365	0.374	-
	19-12-17	3.25	12.07	7.40	57.00	9.85	0.021	0.037	0.968	0.005	0.037	0.037	0.257	0.259	-
	23-01-18	0.98	8.38	7.29	67.00	10.54	0.042	0.053	0.866	0.009	0.013	0.013	0.211	0.212	-
	11-07-18	2.59	8.04	7.66	86.00	0.28	0.051	0.053	0.995	0.051	0.095	0.095	0.335	0.338	<0.02
	26-11-18	3.20	8.69	7.40	56.00	7.70	0.044	0.080	1.375	0.002	0.131	0.111	0.413	0.420	0.27
M-5	26-09-17	285.98	8.77	7.23	83.00	9.60	0.013	0.020	0.153	0.009	0.017	0.017	0.054	0.054	-
	22-11-17	270.09	11.44	7.57	75.00	8.48	0.006	0.021	0.220	0.001	0.049	0.049	0.099	0.100	-
	19-12-17	183.85	12.19	7.39	57.00	10.54	0.019	0.031	0.037	0.002	<0.009	<0.009	0.009	0.010	-
	23-01-18	152.58	13.03	7.52	64.00	4.43	0.021	0.034	0.198	0.008	0.021	0.021	0.068	0.070	-
	11-07-18	238.93	7.85	7.50	32.00	12.23	0.021	0.022	0.367	0.004	0.098	0.098	0.182	0.187	0.14
	27-11-18	253.27	12.22	7.41	49.00	10.71	0.015	0.026	0.210	0.001	0.020	0.018	0.063	0.070	0.66
M-6	26-09-17	40.02	7.65	7.16	46.00	3.60	0.005	0.006	0.003	0.009	<0.009	<0.009	0.003	0.010	-
	22-11-17	35.07	8.09	7.04	26.00	11.89	0.001	0.012	0.014	0.001	0.056	0.056	0.059	0.069	-
	19-12-17	23.58	11.57	6.21	443.00	10.60	0.010	0.017	0.483	0.001	0.040	0.040	0.149	0.152	-
	23-01-18	10.40	15.16	7.34	59.00	5.88	0.017	0.022	0.023	0.006	0.018	0.018	0.025	0.027	-
	11-07-18	26.48	6.64	7.13	27.00	8.79	0.011	0.012	0.200	0.002	0.082	0.082	0.128	0.129	0.72
	26-11-18	23.00	11.54	6.85	38.00	8.53	0.005	0.018	0.154	0.001	0.042	0.035	0.068	0.070	0.26

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m3/s)	T (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
M-7	26-09-17	1.17	10.00	7.61	94.00	9.25	0.045	0.055	0.715	0.020	0.027	0.027	0.195	0.195	-
	22-11-17	0.46	12.26	7.59	94.00	8.15	0.023	0.057	1.168	0.003	0.052	0.052	0.317	0.320	-
	19-12-17	0.43	11.89	7.51	72.00	10.24	0.047	0.068	1.182	0.003	<0.009	<0.009	0.268	0.268	-
	23-01-18	0.35	11.03	7.61	73.00	9.98	0.010	0.013	0.037	0.007	<0.009	<0.009	0.010	0.010	-
	11-07-18	1.03	9.42	7.65	44.20	0.36	0.039	0.041	1.484	0.004	0.084	0.084	0.420	0.425	0.08
	26-11-18	1.36	12.12	7.77	66.00	7.09	0.042	0.071	1.502	0.007	0.052	0.044	0.382	0.380	0.61
B-1	26-09-17	0.28	8.33	7.10	82.00	9.75	0.010	0.013	0.037	0.007	<0.009	<0.009	0.010	0.010	-
	22-11-17	0.19	10.26	7.47	79.00	7.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.14	13.03	7.45	64.00	8.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.08	13.42	7.38	60.00	8.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.56	8.08	8.23	31.80	0.19	0.010	0.009	0.157	0.005	0.056	0.056	0.093	0.106	0.04
	27-11-18	0.43	8.90	7.43	52.00	7.28	0.009	0.027	0.795	0.001	0.036	0.032	0.208	0.210	1.04
B-2	26-09-17	1.77	9.20	7.54	91.00	9.62	0.023	0.027	0.593	0.020	0.014	0.014	0.154	0.154	-
	22-11-17	1.49	10.68	7.62	92.00	8.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.00	11.34	7.62	9.86	66.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.12	14.77	7.35	53.00	7.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	1.75	8.75	7.63	45.00	0.46	0.024	0.026	1.320	0.006	0.043	0.043	0.343	0.345	0.08
	27-11-18	0.79	10.32	7.65	65.00	7.98	0.014	0.047	1.080	0.006	0.077	0.064	0.306	0.310	0.53

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-3	26-09-17	0.35	8.34	7.39	80.00	9.69	0.018	0.024	0.023	0.007	0.011	0.011	0.018	0.018	-
	22-11-17	0.30	9.52	7.00	77.00	8.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.29	12.97	7.31	55.00	9.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.42	11.54	8.08	64.00	8.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.63	8.51	8.08	33.70	0.20	0.020	0.016	0.322	0.002	0.056	0.056	0.129	0.142	<0.02
	27-11-18	0.17	10.24	7.68	54.00	7.16	0.016	0.023	0.205	0.001	0.112	0.093	0.134	0.140	0.04
B-4	26-09-17	1.45	9.49	7.24	78.00	9.46	0.012	0.017	0.241	0.009	<0.009	<0.009	0.057	0.057	-
	22-11-17	2.03	11.08	7.17	38.00	11.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.67	13.81	7.78	57.50	8.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.67	13.91	7.85	56.00	9.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	2.12	8.94	7.01	35.50	0.20	0.015	0.012	0.580	0.003	0.053	0.053	0.185	0.198	0.85
	26-11-18	1.83	11.59	7.48	53.00	7.65	0.007	0.015	0.378	0.003	0.009	0.005	0.093	0.090	0.58
B-5	26-09-17	10.79	7.25	7.31	49.00	10.03	0.006	0.008	0.008	0.008	<0.009	<0.009	0.004	<0.010	-
	22-11-17	7.48	14.08	7.36	47.00	7.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	4.01	9.98	6.90	27.00	10.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.74	10.04	6.97	30.00	9.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	3.80	8.11	8.09	24.50	0.24	0.009	0.011	0.242	0.004	0.086	0.086	0.142	0.144	<0.02
	26-11-18	4.76	12.79	7.41	28.00	7.41	0.008	0.017	0.345	0.002	0.014	0.013	0.089	0.090	0.08

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m3/s)	T (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-6	26-09-17	38.29	6.60	7.72	34.00	6.16	0.023	0.032	0.071	0.011	<0.009	<0.009	0.019	0.019	-
	22-11-17	50.54	9.54	7.32	33.00	11.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	37.25	7.90	6.46	50.00	14.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	26.23	10.16	10.35	52.60	8.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	24.86	6.29	7.45	26.00	14.06	0.060	0.027	0.093	0.002	0.057	0.057	0.079	0.080	0.08
	27-11-18	43.54	7.28	7.25	45.00	12.82	0.021	0.037	0.275	0.001	0.170	0.142	0.194	0.200	0.15
B-7	26-09-17	0.51	8.67	7.68	40.00	5.52	0.001	0.005	0.134	0.007	<0.009	<0.009	0.032	0.032	-
	22-11-17	0.41	11.05	7.44	42.00	10.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.12	13.32	8.06	61.00	6.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.20	14.49	10.38	65.30	6.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.51	7.17	7.55	27.00	10.74	0.003	0.002	0.063	0.003	0.063	0.063	0.078	0.093	<0.02
	26-11-18	0.35	10.57	7.31	50.00	9.43	0.005	0.006	0.250	0.001	0.054	0.046	0.099	0.100	0.02
B-8	26-09-17	3.80	6.85	7.54	34.00	5.73	0.001	0.003	0.039	0.007	<0.009	<0.009	0.011	0.011	-
	22-11-17	3.48	9.49	7.56	35.00	11.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.04	12.28	7.79	58.60	6.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	1.41	15.11	10.76	65.80	7.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	5.15	5.69	7.46	26.00	11.49	0.002	<0.0004	0.035	0.004	0.056	0.056	0.065	0.077	0.02
	26-11-18	2.16	10.05	7.40	48.00	12.00	0.003	0.004	0.352	0.001	0.055	0.047	0.123	0.130	0.21

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-9	26-09-17	2.84	7.13	7.64	49.00	5.43	0.006	0.013	0.020	0.007	<0.009	<0.009	0.007	<0.010	-
	22-11-17	6.09	10.84	7.25	46.00	11.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	3.82	9.34	7.57	71.50	7.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	3.88	10.70	8.72	94.00	7.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	8.12	5.86	7.31	12.00	11.84	0.013	0.012	0.122	0.002	0.045	0.045	0.073	0.086	<0.02
	26-11-18	5.73	10.95	7.11	43.00	10.68	0.012	0.009	0.238	0.001	0.009	0.007	0.061	0.060	0.14
B-10	26-09-17	12.04	8.16	7.41	55.00	5.61	0.041	0.042	0.005	0.009	<0.009	<0.009	0.004	<0.010	-
	22-11-17	13.94	8.89	6.92	49.00	11.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	5.06	9.17	7.33	69.80	6.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	8.50	9.10	8.26	74.50	8.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	12.84	7.79	6.93	34.00	10.86	0.044	0.045	0.325	0.004	0.066	0.066	0.141	0.156	<0.02
	26-11-18	9.96	8.89	6.80	54.00	11.56	0.033	0.042	0.417	0.001	0.019	0.016	0.109	0.110	<0.02
B-11	26-09-17	0.05	7.25	7.80	35.00	5.19	0.023	0.031	0.010	0.011	<0.009	<0.009	0.006	<0.010	-
	22-11-17	1.99	12.20	7.06	29.00	10.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.47	9.88	7.74	26.90	6.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.91	11.36	9.16	24.40	7.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.06	4.94	7.35	23.00	11.82	0.031	0.029	0.215	0.004	0.057	0.057	0.107	0.156	0.02
	26-11-18	2.05	9.97	6.89	29.00	10.93	0.027	0.059	0.177	0.001	0.009	0.004	0.047	0.040	0.07

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-12	26-09-17	31.36	6.95	7.05	42.00	3.86	0.007	0.014	0.098	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.029	-
	22-11-17	38.78	7.19	6.91	24.00	12.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	22.55	10.72	5.66	37.80	15.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	6.47	13.80	6.98	53.20	6.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	30.26	5.69	7.15	24.00	11.05	0.011	0.008	0.082	0.004	0.066	0.066	0.086	0.100	0.78
	26-11-18	28.26	11.28	6.89	37.00	10.26	0.040	0.180	0.295	0.001	0.065	0.055	0.117	0.120	0.21
B-13	26-09-17	1.30	8.37	7.47	31.00	4.33	0.003	0.003	0.003	0.007	<0.009	<0.009	0.003	<0.010	-
	22-11-17	0.77	10.50	7.17	35.00	10.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.30	9.72	6.25	53.50	12.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.49	11.08	7.42	53.70	7.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.55	7.37	7.13	24.00	11.76	0.002	<0.0004	0.360	0.006	0.057	0.057	0.140	0.153	0.02
	26-11-18	0.83	11.68	7.13	40.00	10.79	0.001	0.005	0.185	0.001	0.019	0.016	0.057	0.060	0.33
B-14	26-09-17	44.71	7.70	7.68	32.00	4.83	0.003	0.003	0.022	0.007	<0.009	<0.009	0.007	<0.010	-
	22-11-17	58.31	8.41	7.20	27.00	12.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	36.61	11.49	6.71	45.50	10.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	22.59	15.02	8.23	51.70	7.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	37.36	5.97	7.25	26.00	12.70	0.010	0.002	0.175	0.005	0.069	0.069	0.110	0.119	<0.02
	26-11-18	24.94	12.42	7.68	43.00	10.40	0.001	0.011	0.200	0.002	0.024	0.021	0.064	0.070	0.40

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-15	26-09-17	25.35	7.06	7.69	27.00	5.10	0.002	0.006	0.098	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.024	-
	22-11-17	17.99	8.80	7.10	33.00	14.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	10.14	10.39	6.39	52.60	11.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	7.61	12.86	9.07	55.60	7.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	4.82	6.03	7.10	22.00	12.01	0.007	0.005	0.210	0.003	0.066	0.066	0.114	0.129	<0.02
	26-11-18	26.11	11.39	7.05	44.00	10.95	<0.001	0.010	0.098	0.001	0.012	0.011	0.032	0.030	0.4
B-16	26-09-17	3.56	7.57	7.00	101.00	9.87	0.045	0.047	0.764	0.008	<0.009	<0.009	0.175	0.175	-
	22-11-17	0.62	7.61	7.09	102.00	8.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	2.43	7.61	6.75	72.00	10.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.36	7.68	6.80	62.00	10.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.15	7.66	6.53	49.50	1.23	0.049	0.049	0.548	0.003	0.080	0.080	0.205	0.225	<0.02
	26-11-18	5.00	7.70	7.07	71.00	7.60	0.030	0.056	0.430	0.001	0.038	0.033	0.127	0.130	<0.02
B-17	26-09-17	61.90	8.49	7.25	64.00	9.69	0.007	0.014	0.400	0.011	<0.009	<0.009	0.094	0.094	-
	22-11-17	54.25	9.90	7.43	76.00	8.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	34.01	12.03	7.88	90.60	7.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	33.75	10.75	7.50	102.30	5.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	67.33	8.85	7.46	40.45	10.86	0.018	0.018	0.645	0.002	0.093	0.093	0.239	0.241	0.09
	27-11-18	53.20	11.23	7.08	71.00	11.15	0.017	0.029	0.953	0.011	0.053	0.045	0.260	0.260	3.37

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

Punto	Fecha	Flow (m3/s)	T (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
B-19	26-09-17	0.05	9.92	7.20	78.00	7.80	0.016	0.021	0.584	0.009	<0.009	<0.009	0.135	0.135	-
	22-11-17	0.09	9.99	7.25	75.00	6.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.08	10.00	7.02	52.00	8.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.07	10.01	6.91	49.00	7.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.01	9.97	6.50	32.40	0.21	0.017	0.016	0.803	0.002	0.052	0.052	0.234	0.247	0.33
	26-11-18	0.98	10.09	7.40	50.00	6.29	0.010	0.027	0.485	0.015	0.017	0.015	0.127	0.130	<0.02
B-20	26-09-17	8.93	8.96	7.67	59.00	9.74	0.013	0.018	0.095	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.024	-
	22-11-17	2.08	9.69	7.71	64.00	7.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	2.95	9.93	7.37	47.00	9.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	2.91	10.18	7.55	46.00	8.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	5.20	7.63	6.92	25.20	0.47	0.012	0.011	0.227	0.004	0.057	0.057	0.109	0.122	<0.02
	26-11-18	6.77	9.43	7.69	38.00	6.06	0.010	0.023	0.183	0.001	0.030	0.025	0.065	0.070	<0.02
B-21	26-09-17	0.03	9.93	7.22	104.00	9.31	0.053	0.058	1.806	0.007	<0.009	<0.009	0.410	0.410	-
	22-11-17	0.04	10.21	7.18	104.00	7.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.03	10.74	7.27	80.00	9.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.01	10.82	7.22	82.00	8.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	0.09	10.06	6.98	52.20	0.43	0.051	0.053	1.702	0.003	0.073	0.073	0.458	0.461	<0.02
	27-11-18	0.12	9.95	7.23	72.00	6.99	0.05	0.059	1.765	0.004	0.03	0.026	0.423	0.43	0.02



Tabla 8. Parámetros físicos medidos en los puntos de monitoreo tipo Q-n (puntos de control donde sólo se realizaron aforos)

Punto	Fecha	Caudal (m ³ /s)	T (° C)	pH	Cond. (µS/cm)	OD (ppm)
Q-4	26-09-17	N/A	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	1.49	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	5.72	8.20	7.30	60.00	11.10
	23-01-18	1.41	8.19	7.33	65.00	8.95
	10-07-18	2.20	7.81	7.24	38.90	-
	27-11-18	5.92	7.90	7.28	49.00	8.12
Q-5	26-09-17	0.03	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.03	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.02	11.57	7.78	53.00	10.80
	23-01-18	0.03	11.83	6.95	33.00	9.62
	10-07-18	0.14	7.84	6.49	20.70	-
	26-11-18	0.06	10.54	7.44	34.00	7.33
Q-6	26-09-17	1.52	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.60	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.27	15.56	7.07	30.00	9.79
	23-01-18	0.33	12.76	7.03	29.00	9.59
	10-07-18	1.20	7.64	7.08	17.40	-
	26-11-18	1.37	12.36	7.38	25.00	7.63
Q-7	26-09-17	0.65	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.68	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.30	12.82	8.15	64.00	6.29
	23-01-18	0.36	13.44	10.48	65.70	7.25
	10-07-18	0.58	6.47	7.65	27.00	11.01
	26-11-18	0.22	10.42	7.49	50.00	10.04
Q-8	26-09-17	0.42	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.51	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.15	12.14	8.05	56.10	6.79
	23-01-18	0.17	12.75	10.59	66.50	7.35
	10-07-18	0.34	6.85	7.62	29.00	10.90
	26-11-18	0.24	10.05	7.41	53.00	11.37
Q-11	26-09-17	0.21	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.28	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.48	12.07	7.02	58.00	9.73
	23-01-18	0.16	10.63	7.34	57.00	8.38
	10-07-18	0.25	8.46	7.53	36.80	-
	27-11-18	0.42	9.61	7.14	58.00	7.14
Q-12	26-09-17	2.73	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	3.25	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	3.33	9.16	6.93	68.00	10.45
	23-01-18	0.51	9.35	7.11	33.60	9.12
	10-07-18	1.68	8.16	8.41	48.00	-
	27-11-18	1.86	8.58	7.15	58.00	7.62
Q-20	26-09-17	31.32	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	15.05	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	9.75	10.04	7.25	44.00	10.96
	23-01-18	23.18	10.13	7.50	43.00	9.36
	10-07-18	27.77	9.63	6.20	29.40	-
	26-11-18	34.56	10.18	7.58	51.00	7.80
Q-21	26-09-17	0.14	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.60	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.33	11.66	7.35	68.00	10.02
	23-01-18	0.73	NA	NA	NA	NA
	11-07-18	0.43	9.80	7.51	44.60	-
	27-11-18	0.29	9.95	7.60	65.00	7.19



Continuación de Tabla 8. Parámetros físicos medidos en los puntos de monitoreo tipo Q-n (puntos de control donde sólo se realizaron aforos)

Punto	Fecha	Caudal (m ³ /s)	T (° C)	pH	Cond. (µS/cm)	OD (ppm)
Q-22	26-09-17	2.12	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	1.52	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.32	10.48	6.39	47.90	13.53
	23-01-18	0.94	11.93	7.99	54.10	7.08
	10-07-18	2.18	6.95	7.25	21.00	11.86
	26-11-18	1.48	11.68	7.13	40.00	10.79
Q-23	26-09-17	0.94	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.78	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	23-01-18	0.47	11.73	9.21	60.30	7.64
	11-07-18	2.45	8.51	7.16	28.00	12.36
	26-11-18	0.66	10.39	7.06	47.00	14.57
Q-25	26-09-17	0.72	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	0.54	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	0.52	10.70	7.48	71.90	10.84
	23-01-18	0.32	9.64	5.13	68.60	6.41
	10-07-18	1.22	7.71	6.68	31.00	9.16
	26-11-18	0.45	11.05	6.47	54.00	9.70
Q-27	26-09-17	17.68	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	15.94	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	18.07	10.58	7.24	79.00	7.11
	23-01-18	17.15	11.21	10.42	94.50	7.78
	10-07-18	25.41	6.99	7.48	34.00	9.86
	26-11-18	26.81	9.07	6.78	51.00	10.42
Q-28	26-09-17	10.41	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	1.19	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	2.38	8.02	7.26	54.00	10.85
	23-01-18	1.02	8.71	7.40	53.00	10.18
	10-07-18	5.49	6.26	6.69	34.30	-
	26-11-18	6.05	8.70	7.65	49.00	8.15
Q-29	26-09-17	27.79	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	25.49	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	24.16	9.73	7.65	69.30	11.90
	23-01-18	24.80	11.56	9.68	77.30	7.74
	11-07-18	35.47	8.11	6.62	46.00	11.80
	27-11-18	33.53	9.39	6.81	59.00	11.46
Q-30	26-09-17	19.05	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	11.30	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	24.71	N/A	N/A	49.00	N/A
	23-01-18	15.28	13.67	7.19	62.30	6.15
	11-07-18	44.25	7.60	7.37	27.00	10.02
	27-11-18	49.18	9.81	7.15	41.00	10.63
Q-31	26-09-17	N/A	NA	NA	NA	NA
	22-11-17	3.76	NA	NA	NA	NA
	19-12-17	1.61	8.38	5.76	60.00	13.78
	23-01-18	1.96	9.17	8.84	54.40	7.76
	11-07-18	5.90	7.98	6.82	33.00	11.99
	27-11-18	3.17	8.24	6.84	54.00	11.18



Continuación de Tabla 8. Parámetros físicos medidos en los puntos de monitoreo tipo Q-n (puntos de control donde sólo se realizaron aforos)

Punto	Fecha	Caudal (m ³ /s)	T (° C)	pH	Cond. (µS/cm)	OD (ppm)
Q-32 (=B10-B11)	26-09-2017	11.98				
	22-11-2017	11.95				
	19-12-2017	3.59				
	23-01-2018	7.58			NA (cálculo)	
	11-07-2018	11.78				
	27-11-2018	7.91				
Q-34 (=Q20-[B20+B19])	26-09-2017	22.34				
	22-11-2017	12.88				
	19-12-2017	6.72				
	23-01-2018	20.19			NA (cálculo)	
	11-07-2018	22.56				
	27-11-2018	26.81				

NOTA: No aplica (NA) y No aforado (N/A)

4.2. Otros datos levantados por organismos públicos

Para dar cumplimiento a la Actividad 3.1.4 y con el objetivo de actualizar el inventario de emisiones, instituciones como la Municipalidad de Pucón, la Dirección General de Aguas y Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), en paralelo al presente estudio, aportaron recursos para levantar nueva información necesaria para entender las presiones de la cuenca y el propio Lago Villarrica.

La Municipalidad de Pucón realizó tres campañas en total; en las dos iniciales se visitaron las termas ubicadas en la zona de Huife-Liucura y en el sector de Minetúe, y en la tercera campaña se monitorearon nuevos puntos en ríos y esteros sobre los que no se tenían antecedentes. Se monitoreó calidad y se realizaron aforos en 11 centros termales y 5 puntos en ríos/esteros como el río Claro, los afloramientos de los Ojos del Caburgua y en los esteros Carmelito y Candelaria. Los 16 puntos monitoreados están ubicados dentro de la comuna de Pucón (Tabla 9). La Municipalidad también realizó 3 monitoreos en el Sector de La Poza de Pucón, pero para el presente estudio no fueron considerados estos datos debido a que los modelos matemáticos desarrollados no fueron diseñados para analizar las reacciones ocurridas en el lago mismo.

Las analíticas de agua fueron tomadas por el Laboratorio Análisis Ambientales S.A., por su lado, los aforos se realizaron en conjunto entre la Municipalidad de Pucón y el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua de la UFRO. Las muestras tomadas en los centros termales fueron de tipo compuesto debido a la existencia de múltiples descargas en la mayoría de ellos. Los aforos fueron realizados con un caudalímetro de hélices y en los lugares de difícil acceso se empleó el método volumétrico utilizando un recipiente de volumen conocido (de capacidad 20 L). Los resultados de los muestreos se muestran en la Tabla 10 y un mayor detalle de los puntos puede observarse en el ANEXO 4. Registro fotográfico salidas a terreno complementarias.



Tabla 9. Identificación de los puntos en los muestreos realizados por la Municipalidad de Pucón.

ID	Puntos	Fecha	Coordenadas	
			X	Y
1	Pucón Indómito	30-10-2018	265675	5655945
2	Peumayen	30-10-2018	266850	5655713
3	Quimey-Co	30-10-2018	267201	5655484
4	Huife_ducto1	30-10-2018	270591	5654566
	Huife_ducto2		270622	5654595
	Huife_ducto3		270711	5654611
5	Los Pozones_ducto1	30-10-2018	271172	5654781
	Los Pozones_ducto2		271011	5654689
6	Liucura_ducto1	30-10-2018	259067	5650669
	Liucura_ducto2		259068	5650676
7	Menetúe	28-11-2018	265459	5643094
8	Trancura (punto de aforo)	28-11-2018	267752	5641997
	Trancura (punto de calidad)		267719	5642029
9	Montevivo	28-11-2018	267916	5642013
10	San Luis	28-11-2018	268027	5642076
11	Palguín (punto de aforo)	28-11-2018	260290	5632951
	Palguín (punto de calidad)		260276	5632815
12	Ojos Caburgua (pasarela1)	28-11-2018 18-12-2018	255357	5652953
13	Colector O'Higgins	18-12-2018	242996	5648048
14	Aguas abajo de descarga PTAS Pucón	18-12-2018	244684	5650127
15	Estero Carmelito	18-12-2018	240837	5646551
16	Estero Candelaria	18-12-2018	239998	5646035

Tabla 10. Parámetros físico-químicos en centros termales y ríos/esteros de la comuna de Pucón.

Punto	Fecha	Caudal (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	Oxígeno disuelto saturado (%)	HAP (µg/L)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno de Nitrato [N-NO3] (mg/L)	Nitrógeno de Nitrito [N-NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amonio [N-NH4] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (µg/L)
Pucón Indómito	30-10-2018	0.665	23.3	8.3	242	4.8	<0.047	0.016	1.586	0.005	<0.046	<0.009	0.192	0.194*	0.192*	<0.02
Peumayen	30-10-2018	0.003	39.0	7.6	143	4.4	<0.047	0.038	8.700	0.029	1.940	<0.009	0.080	0.080	2.020	0.21
Quimey-Co	30-10-2018	0.022	34.0	8.3	206	4.8	<0.047	0.014	0.268	0.002	<0.046	<0.009	0.014	0.014	0.014	0.34
Huife	30-10-2018	11.903	49.5	8.2	421	5.4	<0.047	0.017	0.257	0.001	<0.046	<0.009	0.032	0.032	0.032	<0.02
Los Pozones	30-10-2018	0.053	26.9	7.6	212	5.1	<0.047	0.010	0.260	0.003	<0.046	<0.009	0.030	0.030	0.030	0.08
Liucura	30-10-2018	0.008	27.5	8.1	319	4.3	<0.047	0.047	0.468	0.002	<0.046	<0.009	0.039	0.039	0.039	0.1
Menetúe	28-11-2018	0.001	40.3	8.0	337	6.9	<0.047	0.071	0.099	0.001	<0.046	<0.009	0.011	0.011	0.011	<0.02
Trancura	28-11-2018	0.017	39.7	7.2	278	7.6	<0.047	0.026	0.648	0.004	0.189	<0.009	0.048	0.048	0.237	<0.02
Montevivo	28-11-2018	0.016	21.2	7.2	125	7.4	<0.047	0.062	3.896	0.024	1.030	<0.009	0.262	0.262	1.292	<0.02
San Luis	28-11-2018	0.042	38.5	8.9	120	7.1	<0.047	0.076	3.040	<0.001	<0.046	<0.009	0.033	0.033	0.033	<0.02
Palguín	28-11-2018	0.004	34.4	7.7	371	7.2	<0.047	0.032	0.460	0.002	<0.046	<0.009	0.025	0.025	0.025	<0.02
Ojos Caburgua (pasarela)	28-11-2018	4.720	9.9	7.5	43	10.9	<0.047	0.019	0.180	<0.001	<0.046	<0.009	0.028	0.028	0.028	<0.02
Colector O'Higgins	18-12-2018	1.009	9.3	7.6	101	91	<0.047	0.078	0.963	0.002	0.139	<0.009	0.039	0.039	0.178	<0.02
Aguas abajo de descarga PTAS Pucón	18-12-2018	1.941	12.5	6.7	66	79	<0.047	0.025	0.221	0.003	<0.046	<0.009	0.049	0.049	0.049	0.72
Ojos del Caburgua (pasarela)	18-12-2018	3.971	9.9	7.4	43	75	<0.047	0.024	0.098	0.002	<0.046	<0.009	0.076	0.076	0.076	<0.02
Puente Carmelito	18-12-2018	0.024	18.4	7.6	73	90	<0.047	0.066	0.291	0.006	<0.046	<0.009	0.016	0.016	0.016	3.36
Puente Candelaria	18-12-2018	1.165	11.2	7.5	58	91	<0.047	0.244	0.004	<0.046	<0.009	0.244	0.052	0.052	0.052	0.64

NOTAS: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP o PAH por sus siglas en inglés).

(*) Datos que deben ser corroborados por la Municipalidad de Pucón junto al laboratorio contratado para los análisis (ANAM).

En cuanto a la campaña realizada por la DIRECTEMAR, fue posible monitorear calidad y realizar aforos en 5 puntos alrededor del Lago Villarrica. Las analíticas de agua fueron tomadas por Laboratorio Ambiental SGS Chile Ltda., por su lado, los aforos se realizaron en conjunto con la DIRECTEMAR y el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua de la UFRO. En esta ocasión los aforos fueron realizados con un caudalímetro volumétrico GLOBAL WATER modelo FP1C1. La ubicación de los mismos (Tabla 11) y el resultado de las analíticas pueden verse a continuación (Tabla 12). Para un mayor detalle de los puntos puede observarse el Anexo 4.

Tabla 11. Identificación de los puntos en los muestreos realizados por la DIRECTEMAR.

ID	Puntos	Coordenadas	
		X	Y
1	Frente PUCV	221337	5646747
2	Castillo, Zona norte	227125	5654971
3	Sector Carmelito	239130	5645075
4	Estero Carmelito	240233	5646221
5	Costanera Villarrica	240199	5678940

La Dirección General de Aguas (DGA) realizó 2 visitas a terreno en el sector de los afloramientos Ojos del Caburgua en septiembre y octubre del 2018. La primera salida sirvió para identificar los 5 puntos de interés que aportan más significativamente al río Caburgua. En el último terreno se realizaron los aforos en la zona de La Puntilla (confluencia del río Carhuello y Caburgua) y en 3 afloramientos de la zona Ojos del Caburgua (ubicados en el complejo turístico del mismo nombre).

El equipo empleado para realizar los aforos fue un molinete Gurley modelo 622 montado sobre una barra de vado (barra de acero inoxidable graduada) y ocupando escandallo (peso) para realizar las mediciones siguiendo la metodología oficial empleada habitualmente por la DGA. Además del molinete se ocupó el software Aquacalc (JBS instruments) que permitió obtener in situ los datos de caudal, obteniéndose los resultados que aparecen en la Tabla 13.



Tabla 12. Parámetros físico-químicos en descargas directas al Lago Villarrica.

Punto	Fecha	Caudal (m ³ /s)	T (°C)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total [PT] (mg/L)	Nitrógeno de Nitrato [N-NO3] (mg/L)	Nitrógeno de Nitrito [N-NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Nitrógeno Amonio [N-NH4] (mg/L)	Clorofila a (μg/L)
Frente PUCV	29-11-2018	0.031	12.93	7.25	128	6.98	<0.02	0.03	1.53	<0.02	0.06	0.4	1.9	0.07	<0.01
Castillo, Zona norte	29-11-2018	0.324	13.3	7.87	53	7.07	<0.02	0.03	0.3	<0.02	0.08	0.6	0.9	0.11	<0.01
Sector Carmelito	29-11-2018	1.108	10.77	7.7	59	N/A	<0.02	0.03	0.22	<0.02	0.04	0.3	0.5	0.05	<0.01
Estero Carmelito	29-11-2018	0.227	15.19	8.08	92	N/A	<0.02	0.04	0.29	<0.02	0.05	0.3	0.6	0.06	<0.01
Costanera Villarrica	29-11-2018	0.102	N/A	N/A	N/A	N/A	0.02	0.05	1.4	<0.02	0.27	1.8	3.2	0.35	<0.01



Tabla 13. Identificación de los puntos muestreados por la Dirección General de Aguas (DGA).

Puntos	Fecha	Coordenadas		Ancho (m)	Área total (m ²)	Velocidad media (m/s)	Caudal (m ³ /s)
		X	Y				
Pasarela1	24-10-2018	255368	5652954	7.50	4.07	0.88	3.541
Pasarela2	24-10-2018	255322	5652939	6	1.48	0.45	0.677
Estero superior (poza grande)	24-10-2018	255341	5652936	9	5.84	0.34	1.990
Puntilla (río Caburgua)	23-10-2018	254513	5652225	43	71	0.4	29.700
Puntilla (río Carhuello)				20	21.4	0.31	6.640

NOTA: Sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Huso 19S.



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

RESULTADOS

Objetivo Específico 2

Identificación y análisis de propuestas de medidas para reducir la carga de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas identificadas en la investigación.

5. RESULTADOS (OE 2)

5.1 Identificación y análisis de medidas.

Se ha hecho una recopilación completa de medidas a partir de diferentes estudios previos en la cuenca del Lago Villarrica. La revisión consideró 12 estudios en total y se compendiaron 86 medidas, las cuales se presentan en la Tabla 14. La Figura 13 presenta un resumen de la distribución del número de medidas por temática: Gestión, Puntual y Difusa. Respecto de la temática Gestión, ésta posee 3 tipos de aplicación: puntual, difusa y ambas. Por otro lado, todas las medidas fueron también clasificadas según su método de implementación y/o evaluación siendo éstas cualitativas o cuantitativas (ver Tabla 15). Para más detalles de cada una de las medidas ver Anexo 1.

Además, se incorporaron a este compendio 2 nuevas medidas, las cuales se consideran relevantes para su evaluación.

- 1) Monitoreo de calidad de aguas y parámetros físico-químicos a los centros termales.
- 2) Modificación del número de parámetros, incluyendo más especies químicas, y cambio del límite de detección (LD) de reportes de pisciculturas para el SNIFA por Decreto.

El detalle de las medidas recopiladas por temática se presenta en la Tabla 21 para Gestión, Tabla 22 para Puntuales y Tabla 23 para Difusas.

Se incorporó una nueva categorización de las medidas, por indicaciones de la SEREMI de Medio Ambiente, para así poder hacer comparables el PDA de Aire de Temuco y Padre Las Casas (DICTUC-MMA, 2013) y el futuro PDA del Lago Villarrica. Las medidas fueron subclasificadas en tipologías:

Medidas	Tipología
Gestión	Educación ambiental, monitoreo, normativo, complementarias, general, gestión, industrial, residencial y turismo.
Fuentes puntuales	Control, general, industrial, residencial, y residencial e industrial.
Fuentes Difusas	Agricultura, control, difusa agricultura, general, gestión y normativo.

Dentro de la temática Gestión prevalecen las medidas de “monitoreo” (Figura 14), que están relacionadas con la instalación de estaciones de control, la frecuencia de medición y con nuevos parámetros a incluir al Plan (grasas, aceites, coliformes fecales, detergentes e hidrocarburos).

Dentro de las Fuentes Puntuales, abundan las medidas relativas a las tipologías “control” e “industrial”. Este tipo de medidas abordan temáticas como tecnologías aplicables en la industria piscícola, fiscalización y seguimiento de cargas de emisión (TMDL).

Dentro de las Fuentes Difusas, primordialmente existen medidas de tipo “general” que involucran acciones relativas a las buenas prácticas agrícolas, biofiltros y lodos.

Tabla 14. Resumen de Propuestas por Estudio.

Año	Estudios o Fuentes	Nº de Propuestas
1999	CONAMA	10
2004	CAPE IDEPE DGA	3
2009	UACH	7
2011	AGIES NSCA MMA	3
2012	Estudio UCT	6
2012	UCT (Imperial)	3
2016	ECOHYD-MMA	2
2016	UDD	1
2017	Informe Claudia Espinoza	36
2018	Acta 1° seminario de cooperación Bavaria - MMA	6
2018	ACTA 3a MESA TÉCNICA	4
2018	UFRO	5
2018	NUEVA	2
TOTAL		88

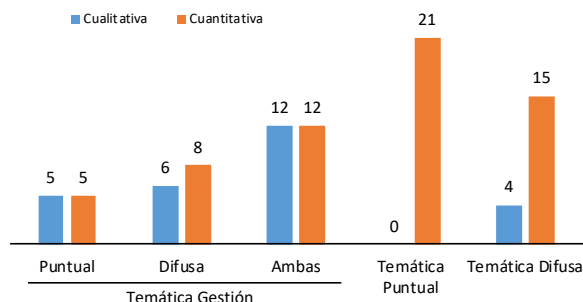


Figura 13. Distribución de medidas.

Tabla 15. Clasificación del número de medidas.

Área Temáticas	Nº	Tipo de Aplicación	Carácter de la Medida	
			Cualitativa	Cuantitativa
Gestión	48	Puntual	5	5
		Difusa	6	8
		Ambas	12	12
Puntual	21	Puntual	0	21
Difusa	19	Difusa	4	15
Total	88	Total	27	61

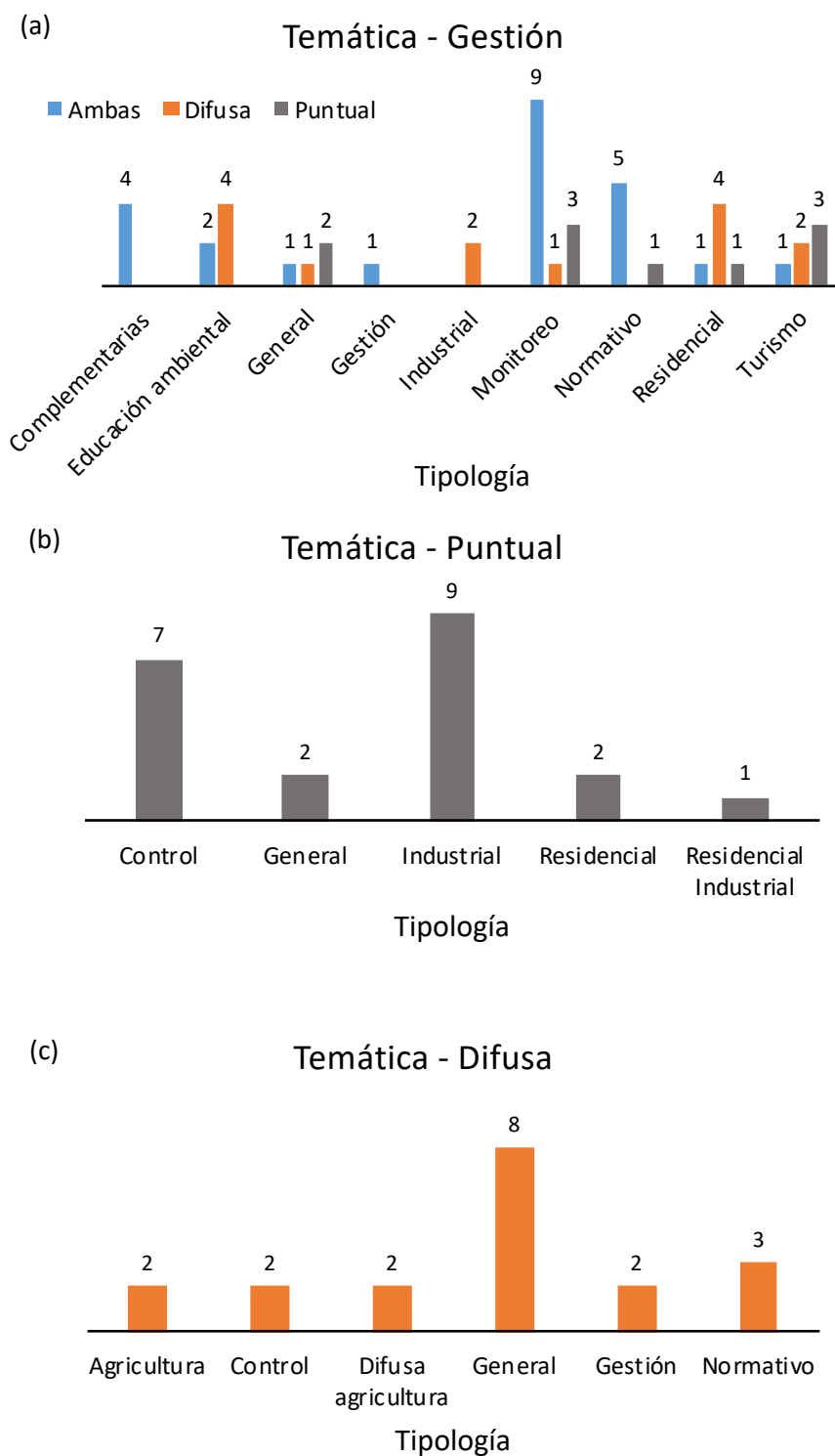


Figura 14. Clasificación según tipología para las temáticas de (a) Gestión, (b) Puntual y (c) Difusa.

5.2 Taller 1.

Las medidas identificadas y clasificadas en la Etapa 4.2 fueron presentadas y discutidas en un primer taller de trabajo para su análisis, clasificación y discusión. Este primer taller fue realizado el viernes 17 de agosto de 2018 en dependencias de la Universidad de La Frontera. La lista de participantes y registro fotográfico se presenta en el Anexo 2 y 3 respectivamente. Al Taller asistieron 41 personas registradas, más 6 profesionales del Centro de Gestión y Tecnologías del Agua (UFRO) no registrados.

Esta actividad se llevó a cabo dividiendo el trabajo en 5 mesas según temáticas: Mesa 1 y 2 (Fuentes Puntuales), Mesa 3 (Fuentes Difusas), Mesas 4 y 5 (Gestión).

En el grupo de Gestión se plantearon un total de 48 medidas a evaluar. Debido a que la temática Gestión contiene un número de medidas elevado, fue necesario dividir el trabajo en dos subgrupos. Esta división permitió un mejor desarrollo de la actividad (esta decisión fue previamente consensuada con la contraparte técnica SMMA).

Respecto al grupo de Fuentes Puntuales, y debido al alto interés de participación por parte del sector industrial, fue necesario subdividir en dos grupos esta temática.

La participación general de los asistentes y el desglose por grupos de trabajo se resumen en la Figura 15 y en la Tabla 16. Del total de personas asistentes, el sector público tuvo una participación del 51% (21 personas), seguido por el sector privado con un 39% representado principalmente por empresas del sector acuícola (16 personas). En tercer lugar, están algunos representantes de las organizaciones sociales más activas en la zona de estudio con un 10% (4 personas).

Finalmente, la Tabla 17 presenta un detalle de la distribución de participantes según afiliación pública, privada o social.

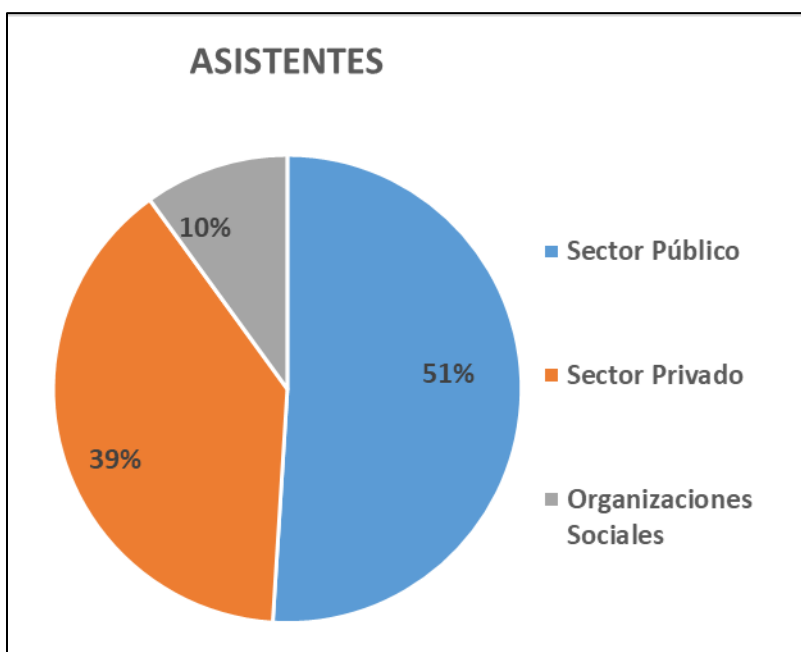


Figura 15. Distribución general por grupos de interés en el Taller1.

Tabla 16. Desglose de participantes al Taller1 por grupos de trabajo.

N° PARTICIPANTES			
TOTALES	GRUPO1	GRUPO2	Subtotal
PUNTUAL	8	8	16
Público	2	3	5
Privado	5	5	10
Sociales	1	0	1
DIFUSA	8		8
Público	4		4
Privado	3		3
Sociales	1		1
GESTIÓN	9	8	17
Público	7	5	13
Privado	1	2	3
Sociales	1	1	2
TOTALES	25	16	41



Tabla 17. Detalle de participantes por grupos de trabajo.

GRUPO	ENTIDADES PARTICIPANTES	N° personas
	DGA	1
	Multiexport	3
	SEA	1
	Sernapesca	1
	SMA	1
	Agrupación social	1
PUNTUAL	Particular (tratamiento de efluentes acuícolas)	1
	SalmonChile-Intesal	1
	Piscicultura Nalcahue (Chehuilco-Quimeyco-Huincacara)	1
	Aguas Araucanía S.A.	1
	Piscicultura La Cascada	2
	Piscicultura Los Fiordos	1
	SEREMI Economía	1
	Subtotal	16
	Seremi MedioAmbiente (SMMA)	1
	GORE	1
	SOCOvesa	1
DIFUSA	CONAF	1
	IMA UFRO	1
	Agrupación social	1
	Universidad Autónoma	1
	PUC Villarrica	1
	Subtotal	8
	Seremi MedioAmbiente (SMMA)	3
	GORE	1
	Municipalidad Pucón	1
	SMA	1
	DIRECTEMAR	1
GESTIÓN	Municipio Curarrehue	1
	Municipio Pucón	3
	Municipio Villarrica	1
	SalmonChile-Intesal	1
	Agrupación social	2
	Piscicultura Curarrehue (Agrosuper)	1
	Universidad Autónoma	1
	Subtotal	17
	TOTAL PARTICIPANTES	41

5.3 Evaluación de medidas.

Las medidas evaluadas en este Taller 1 fueron sistematizadas y ordenadas según su prioridad y relevancia. Para ello se evaluaron dos parámetros; la urgencia y el plazo para cada una. La prioridad fue puntuada en baja (1), media (2) y alta (3). El plazo de implementación se evaluó según corto plazo o inferior a 5 años (1), medio plazo o 5 años (2) y largo plazo o más de 5 años (3).

Después de ser digitalizados los puntajes y cada una de las observaciones realizadas durante la ejecución del taller, se calcularon los promedios individuales para cada medida y los promedios generales por macromedida. Estos promedios permitieron obtener conclusiones por grupos de interés (sector público, privado y actores sociales). Después de realizado el análisis anterior para cada una de las 3 temáticas, los resultados más importantes fueron:

5.3.1 Macromedidas de Gestión

Para la temática Gestión fueron evaluadas en total 7 macromedidas. Debido al tiempo acotado del taller y a la cantidad de medidas, se trabajó en dos grupos (1 y 2). El detalle de las macromedidas puede verse a continuación:

Macromedida 1. Implementación de un PDA para el Lago Villarrica, el cual considere: monitoreo constante, normas de emisión asociados a límites de cargas de contaminantes anuales en todos los esteros y ríos de la cuenca, control de remoción de áridos en los afluentes aportantes, mejora de estándares de construcción en la ribera del Lago y regulación en el uso de lanchas y botes.

Macromedida 2. Mejora del sistema de monitoreo actual, considerando parámetros orgánicos, que implique mayor periodicidad de recolección de información, y que se encuentre asociada a una base de datos online y de acceso público.

Macromedida 3. Implementación de sistemas físico-químicos de tratamiento de fósforo y otros nutrientes, que tengan por premisa, la prevención de la contaminación. (Medidas ID 44a, 44b, 44c y 44d).

Macromedida 4. Alimentar modelos matemáticos de predicción de comportamiento de los contaminantes del Lago Villarrica, incluyendo indicadores biológicos.

Macromedida 5. Construcción de sistemas de tratamiento de aguas servidas a niveles comunales y sectoriales, ampliando la red de alcantarillado a todos los sectores con alta densidad poblacional con ausencia de tratamiento.

Macromedida 6. Creación de instrumentos económicos para el incentivo de las mejoras implementadas en el PDA que incluyan impuestos verdes, programas para la

gestión ambiental municipal, sellos ambientales con apoyo internacional, fomento de buenas prácticas agrícolas y subsidios para la mejora productiva sustentable.

Macromedida 7. Implementación de sistemas físico-químicos de tratamiento de fósforo y otros nutrientes, que tengan por premisa, la prevención de la contaminación. (Medida ID 37).

Realizado el análisis de los promedios, las macromedidas que fueron evaluadas como de mayor urgencia y a implementar en un menor tiempo de ejecución, fueron las Macromedidas 1, 2 y 6 (Figura 16). Es necesario mencionar, que la Macromedida 1 es relativa al plan de descontaminación, su implementación y puntos relevantes a ser incorporados. La Macromedida 2 aborda el sistema de monitoreo, nuevos parámetros y frecuencia de muestreo. En la Macromedida 6 se trataron a su vez, los instrumentos económicos, los sellos ambientales y las buenas prácticas agrícolas.

Un detalle más en profundidad de cada uno de estos tres grupos y sus medidas más relevantes, puede verse en la Tabla 18 y Figura 17.

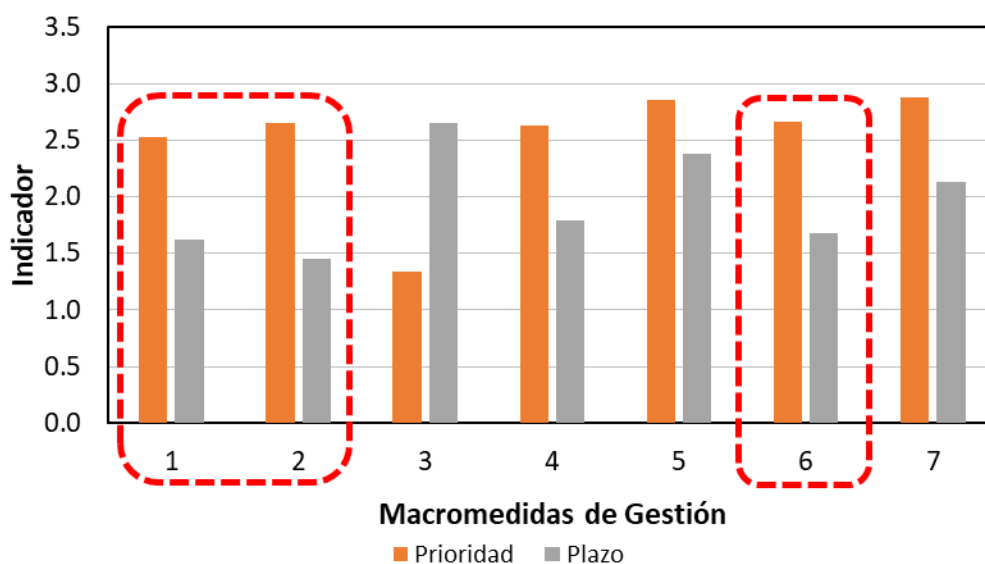


Figura 16. Macromedidas de Gestión, en rojo se resaltaron las más significativas.

Tabla 18. Macromedidas y medidas más relevantes en la temática Gestión.

Macro medida	ID medidas	Detalle de la medida	Observaciones a la medida
1	5, 26 y 39	Análisis de la reglamentación vigente para planes de descontaminación de Lagos, elaboración de política ambiental y establecimiento de límites de carga anual definidos en base a los valores propuestos en la NSCA del Lago Villarrica.	-Considerar regulación de utilización y vertimiento en cuerpos de agua. -Plantear pérdida de derechos de agua si se supera el límite de carga. -Separar los plazos de la reglamentación y de la imposición del límite de carga. -Revisar normas de emisión de otros países y restringir los parámetros de D.S. 90. Condicionar la tenencia de derechos de agua, al cumplimiento de las normativas ambientales de emisión.
	22, 25 y 46	Elaboración plan de manejo de la cuenca, actualización plan regulador Villarrica-Pucón y establecimiento de zonas a ser protegidas en relación a proyectos de construcción.	-Integrar planes reguladores comunales: plan humedales, sector rural y cambio de uso de suelo. -Restauración "Delta Trancura". -Instalar biodigestor anaerobio por cada edificio.
	40	Sustentabilidad de actividades turísticas en la cuenca.	-Evaluar a través de las cadenas productivas de CO ₂ . -Regular servicios de navegación en el Lago. -Monitorear con sensores SMART.
2	2 y 15	Agregar estaciones de monitoreo y control a nivel de subcuencas con presencia de pisciculturas.	-Programa de priorización en zonas con alta concentración de fuentes puntuales. -Instalar estaciones de monitoreo sin considerar actividad productiva específica.
	3	Frecuencia mínima de monitoreo, en verano se debe realizar mayor cantidad debido al mayor número de eventos de contaminación, para posteriormente hacer su modelación.	-Frecuencia actual insuficiente.
	4	Plataforma única de monitoreo de calidad de agua disponible a la ciudadanía	-Fundamentos para evaluar, tomar decisión, mejorar, proyectos, casos futuros.



Continuación de Tabla 18. Macromedidas y medidas más relevantes en la temática Gestión.

Macro medida	ID medidas	Detalle de la medida	Observaciones a la medida
6	30	Difusión y educación en materia de conservación de ecosistemas acuáticos.	-Ordenanzas municipales de protección de humedales, de cuencas y subcuencas, incluyendo difusión. -Educación formal en colegios (inclusión en el PADEM y SNCAE del PDA) y acciones de difusión/sensibilización a la comunidad.
	33	Difusión de implementación de medidas en la comunidad.	Ninguna
	41	Implementar impuestos verdes, el que contamina paga.	-Esto es materia de ley que no aplica en este caso.

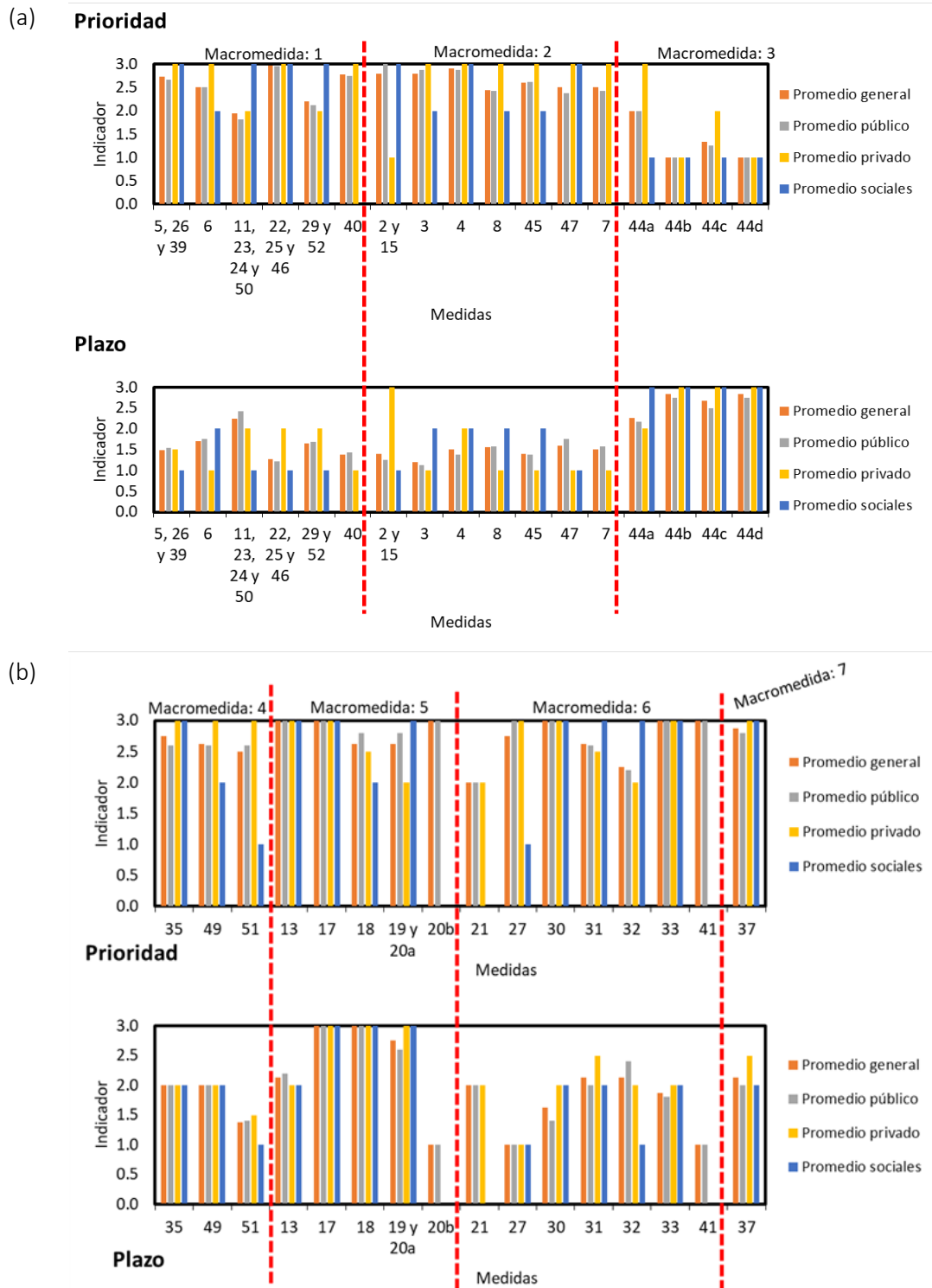


Figura 17. Medidas de Gestión por grupos (a) Macromedidas 1 a 3 y (b) Macromedidas 4 a 7, según código identificador (id) con detalle del promedio general y de los promedios según sectores.

5.3.2 Macromedidas de Fuentes Puntuales

En relación a la temática de Fuentes Puntuales, tres fueron los grupos de medidas evaluados y discutidos en el Taller 1 (Figura 18):

Macromedida 1. Implementación de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) asociadas al tratamiento de efluentes provenientes de pisciculturas, restringiendo la captación de agua para dilución de contaminación, incentivando a la industria acuícola a invertir en mejoras y optimización de sus procesos.

Macromedida 2. Establecer menores límites de detección de reportes de pisciculturas, generando, además, límites menores de carga de nutrientes diarios/mensuales de sus efluentes. Considerar aumento en el valor de las multas y mayor inversión en fiscalización estatal.

Macromedida 3. Implementación de mejoras a las PTAS existentes e instalación de PTAS en urbes que no la poseen.

Con el análisis de prioridades realizado, las Macromedidas 2 y 3 fueron las que más destacan por su importancia y plazo de implementación. La Macromedida 2 aborda temas relativos a los límites de detección, multas y fiscalización; en la Macromedida 3 se trataron las PTAS, mejoras y nuevas instalaciones.

Una vez analizado el promedio individual para cada medida se pudo dar orden a las medidas. A continuación, se describen las que resultaron ser prioritarias dentro del grupo de Fuentes Puntuales (Tabla 19 y Figura 19).

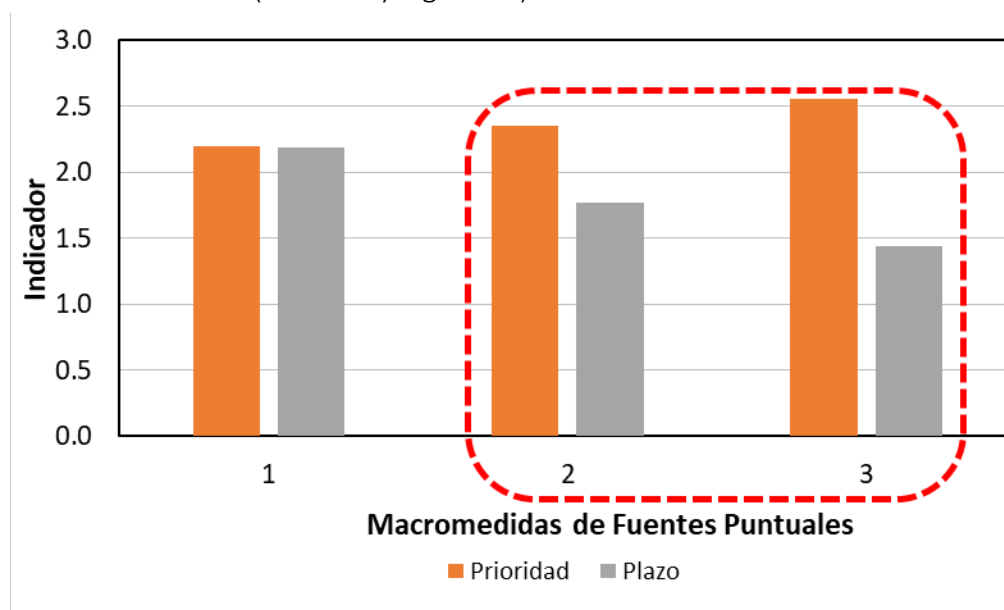


Figura 18. Macromedidas de Fuentes Puntuales, en rojo se resaltaron las más significativas.

Tabla 19. Macromedidas y medidas más relevantes en la temática Fuentes Puntuales.

Macromedida	ID medidas	Detalle de la medida	Observaciones a la medida
2	56	Establecer un límite de carga de nutriente diaria o mensual en base a la producción anual de las pisciculturas. Esta carga máxima para las pisciculturas debiera estar en función de su cercanía al Lago y obtenerse a través de modelos.	-El límite de carga debiese evaluarse por la cuenca y no por cercanía al Lago.
	71	Modificar número de parámetros y LD de reportes de pisciculturas (SNIFA) por Decreto.	-Mejorar los límites de detección, no implicando cambios directos en exigencia de la norma.
	73	Establecer menores límites de detección en los reportes que entregan las empresas a la autoridad competente de tal manera de poder contrastar las estimaciones teóricas de emisión de contaminantes con el valor medido directamente en el efluente.	-Implicará un costo monetario.
3	65	Medidas de descontaminación aguas servidas de Curarrehue: implementación de una Planta de tratamiento de aguas servidas en Curarrehue con tratamiento secundario o bien el tratamiento separado de cada uno de los 7 puntos de descarga.	-Incorporar esta comuna al sistema de PTAS. -Tratar las 7 descargas por separado es un costo que quizá no sea lo más óptimo.
	76	Precipitación química para remover fósforo, los agentes más empleados son: Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, Cloruro férrico ($FeCl_3$), Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$, Cal o hidróxido sódico $Ca(OH)_2$, Ácido hidrolórico o sulfúrico (NaOH) y Sulfuro sódico.	Ninguna
	34	Tratamiento de aguas residuales de descargas en el entorno del Lago (canales urbanos y tuberías).	Ninguna

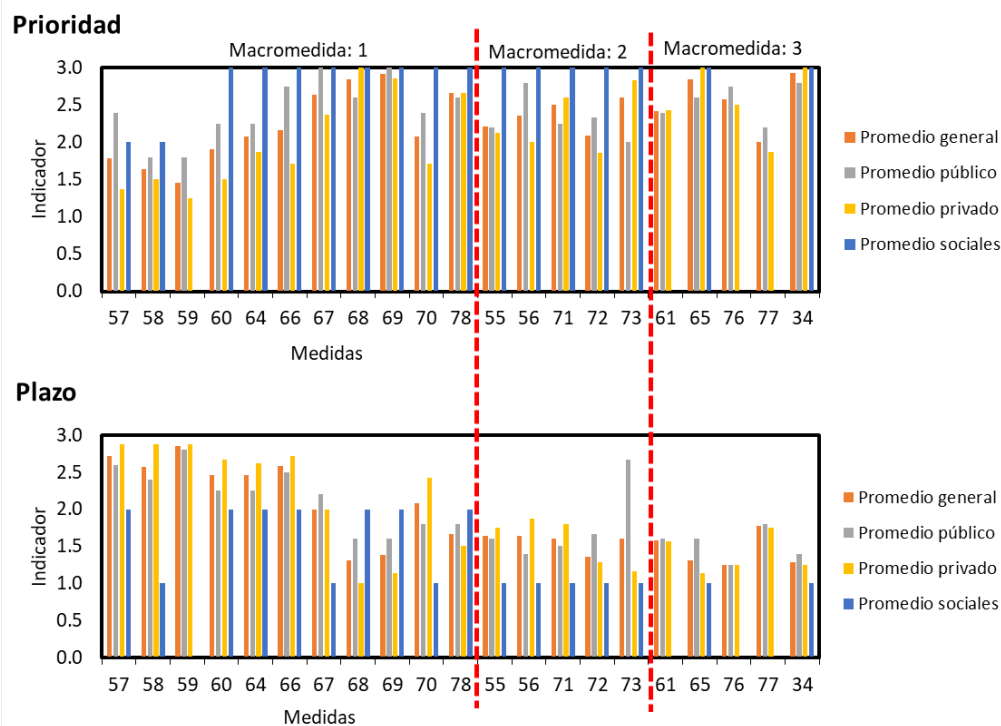


Figura 19. Medidas de Fuentes Puntuales por grupos Macromedidas 1 a 3, según código identificador (id) y promedios según sectores. Elaboración propia.

5.3.3 Macromedidas de Fuentes Difusas

Con respecto a las Fuentes Difusas (Figura 20), tres fueron los macrogrupos tratados en el taller:

Macromedida 1. Fomentar buenas prácticas de usos de suelo, considerando restricciones para disminuir la erosión y sedimentación de nutrientes. Además, considerar censos agrícolas para conocer el aporte de nutrientes del sector agropecuario.

Macromedida 2. Desarrollar un sistema de remoción de nutrientes en fuentes y cauces aportantes al Lago Villarrica, el cual sea monitoreado y utilizado como bioindicador de la salud de este.

Macromedida 3. Otras medidas agrupadas (éstas corresponden a medidas que no pueden ser categorizadas dentro de las demás Macromedidas).

Si se observan los promedios, la Macromedida 2 fue la más priorizada dentro del grupo de las Fuentes Difusas. Las medidas incluidas en este grupo son relativas a la remoción de nutrientes hacia la zona pelagial.

Atendiendo al análisis de los promedios individuales, se obtiene la siguiente selección de medidas priorizadas (Tabla 20). Se incluyeron también algunas medidas del grupo 1 debido a que presentaban puntajes significativos que son necesarios relevar.

Para un mayor detalle de los promedios individuales por medida y sector participante, dirigirse a Figura 21.

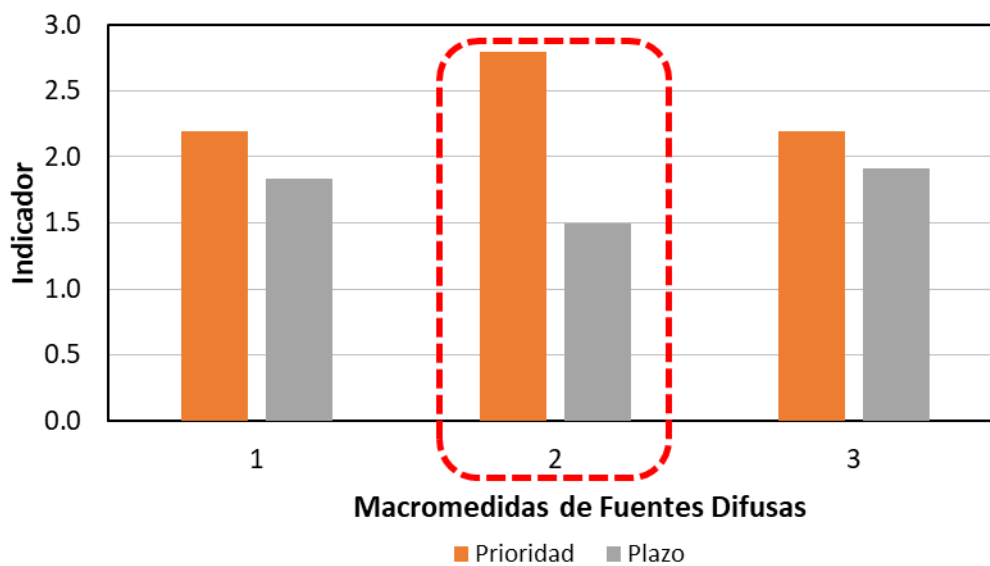


Figura 20. Macromedidas de Fuentes Difusas, en rojo se resaltaron las más significativas.

Tabla 20. Macromedidas y medidas más relevantes en la temática Fuentes Difusas.

Macromedida	ID medidas	Detalle de la medida	Observaciones a la medida
1	80	Buenas prácticas de manejo de suelos.	-Incentivar plantación en la ribera del Lago Villarrica. -No existe mecanismo de solicitud de información al SAG sobre el uso de lodos de Aguas Araucanía.
	85	Plan de reforestación con vegetación nativa en áreas riparianas en la cuenca. Esta vegetación actúa como buffer entre campos y Lagos y es necesaria para disminuir el exceso de nutrientes por escorrentía (Jorgensen 2001). Al mismo tiempo, proteger las zonas donde exista vegetación ripariana contra la deforestación y del Lago Villarrica.	-Educación ambiental de la población. -Incorporar la estructura del bosque; realizar catastro de las zonas riparianas, capacidad de carga.
2	10	Generar incentivos para la reforestación y forestación de bosque nativo siempre-verde de las áreas identificadas como potencialmente forestables.	-Utilizar ley de forestación y adecuación a la ribera del Lago. Generar metas de cumplimiento.
	43	Mantener zonas buffer alrededor de los márgenes del Lago y los afluentes, lo que se traduce en la aplicación de la ley 20.283 sobre Protección del Bosque Nativo y Fomento Forestal.	-Evaluar cómo abordarlo y complementar la ley.

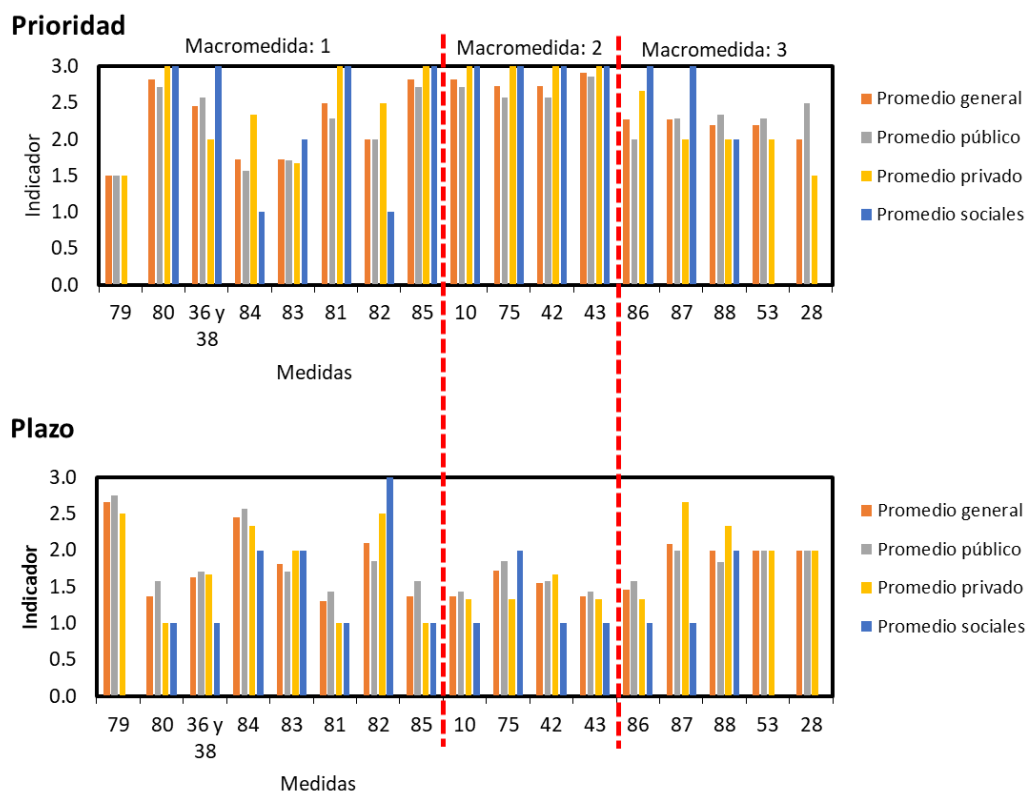


Figura 21. Medidas de Fuentes Difusas por grupos Macromedidas 1 a 3, según código identificador (id) y promedios según sectores.

Tabla 21. Agrupación de medidas de GESTIÓN discutidas en el taller de trabajo del PDA Lago Villarrica

Medida agrupada	ID medidas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipo de medida	Promedio medidas		Promedio macromedidas		Observaciones			
									Prioridad	Plazos	Prioridad	Plazos				
														(1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales		
Implementación de un PDA para el Lago Villarrica, el cual considere: monitoreo constante, normas de emisión asociados a límites de cargas de contaminantes anuales en todos los esteros y ríos de la cuenca, control de remoción de áridos en los afluentes aportantes, mejora de estándares de construcción en la ribera del Lago y regulación en el uso de lanchas y botes.	5, 26 y 39	(5) Análisis de la reglamentación vigente en Chile para Planes de Descontaminación "aplicados a lagos" (comparación con aplicación en aire): C) Monitoreo, seguimiento y control de un futuro PDA y su cumplimiento oficial. (26) Elaboración de política ambiental para lagos araucanos y patagónicos. (39) Se propone establecer límites de carga anual para cada uno de los ríos y esteros. Estos límites deberán ser definidos en base a los valores propuestos en la NSCA del Lago Villarrica.	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Puntual	Cuantitativa	Normativo	2.73	1.48	2.52	1.62	(38) Considerar regulación de utilización y vertimiento respecto a los cuerpos de agua, conformando un organismo autónomo que fiscalice estos sucesos. (36) Unificación de las definiciones en el campo legal y en el SEA para subsanar vacíos/traslapes. Incluir el LGUC requerimiento de pertinencia; La política de lagos escapa a la zona, sin embargo sirven de lineamientos de referencia; plantear que si el límite de carga se supera, se puede llegar a perder derechos de agua; (21) Esta es una medida de alta prioridad, sin embargo una política de lagos no aplica al PDA Lago Villarrica; (5) Se deben separar los plazos de la reglamentación y de la imposición del límite de carga; (24) Revisar normas de emisión de otros países y restringir los parámetros de D.S.90 a dichos valores (considerar países con circunstancias similares). Condicionar la tenencia de derechos de agua, al cumplimiento de las normativas ambientales de emisión.			
			CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa									
			UFRO	2018	105	Ambas	Cuantitativa									
	6	Monitoreo a los centros termales (calidad de aguas y parámetros físico-químicos) por efecto de la temperatura sobre cauce y aporte de nutrientes naturales.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	Puntual	Cuantitativa	Turismo	2.50	1.70	(38) Resulta necesario, pero no es prioridad; (5) es urgente obtener esta información; (44) revisar niveles de oxígeno disuelto en las cercanías a estos centros.					
	11, 23, 24 y 50	(11) Usar el más alto estándar en tecnología ambiental para los botes recreacionales y profesionales, por ejemplo, el uso de cubiertas libres de Biocidas y el uso de motores con un bajo nivel de emisiones . (23) Elaborar norma de emisión para motores de lanchas. (24) Reglamentar el tránsito de lanchas y motos acuáticas en relación a riberas (por contaminación acústica). (50) Evitar resuspensión de sedimento (restringir uso de botes, reducir velocidad en la bahía).	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Difusa	Cualitativa	Turismo	1.95	2.23	2.52	1.62		(38) Es necesario fiscalizar motores de dos tiempos. Eliminar bomba de bencina de poza Pucón, por filtros de hidrocarburos.(36) Es prioritario capacidad de cargar del N° de embarcaciones en consideración a afectación de sistemas humedales que son los filtros del lago. (21) La medida asociada a embarcaciones se puede aplicar a corto plazo y tiene una alta prioridad; (5) Sólo la 50 parece asociada al tema de la zona saturada, el resto de medidas no es competencia del caso, si bien es deseable.		
			CONAMA	1999	2	Puntual	Cualitativa									
			CONAMA	1999	2	Puntual	Cualitativa									
			UACH	2009	55	Difusa	Cuantitativa									
	22, 25 y 46	(22) Elaboración plan de manejo de la cuenca lacustre. (25) Actualización Plan Regulador intercomunal Villarrica -Pucón. (46) Acciones relacionadas con la protección de las costas, ya que estas son susceptibles en relación a proyectos de construcción . En este sentido, establecer zonas susceptibles de ser protegidas, aunque no necesariamente definiendo áreas protegidas, sino la idea es la sustentabilidad .	CONAMA	1999	1	Ambas	Cualitativa	Normativo	2.97	1.27	2.52	1.62			(38) Integrar planes reguladores comunales. Integrar plan humedales y regular el sector rural y el cambio de uso de suelo.(36) Iniciativa restauración, "Delta Trancura", ya que es el principal filtro de nutrientes antes del Lago. Además, se debe revisar la normativa que controla la tala de bosques. Se deben restaurar los humedales; (46) Cada edificio debiese tener un biodigestor anaerobio	
			CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa									
Informe Claudia Espinoza (MMA)			2017	79	Ambas	Cualitativa										
29 y 52	(29) Se debe restringir/fiscalizar más la extracción de áridos en el río Trancura. (52) Evitar trabajos de movimiento de tierra cercana a los cauces. Esta actividad produce que el fósforo se suelte de la tierra y sea arrastrado por los ríos.	UACH	2009	19 y 55	Difusa	Cuantitativa	Industrial	2.20	1.65	2.52	1.62	(38) Definir quien fiscaliza este punto ciego; (36) Ojo con obras MOP, pues no cumplen los planes de manejo ambiental; (5) Esta actividad no tiene relación con la liberación de N y P, quizá turbidez.				
		Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa										
40	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica: A) Sustentabilidad de actividades turísticas en la cuenca.	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Ambas	Cualitativa	Turismo	2.78	1.38	2.52	1.62		(38) Evaluar a través de las cadenas productivas de CO2; (36) Regular servicios de navegación en el Lago.			
Mejora el sistema de monitoreo actual, considerando parámetros orgánicos, que implique mayor periodicidad de recolección de información, y que se encuentre asociada a una base de datos online y de acceso público.	2 y 15	(2) Agregar estaciones de monitoreo si es estrictamente necesario. (15) Instalar estaciones de control a nivel de subcuencas con presencia de pisciculturas	CAPE IDEPE DGA	2004	104-105	Ambas	Cualitativa	Monitoreo	2.80	1.40	2.65		1.45	(38) Necesario monitorear con sensores SMART; (36) Ojo con método, pues debe tener relación directa con parámetros de N y P. Se debe generar un programa de priorización en zonas/nodos con alta concentración de fuentes puntuales. (21) Instalar estaciones de monitoreo sin considerar actividad productiva específica.		
			Estudio UCT	2012	98	Puntual	Cualitativa									
	3	Frecuencia mínima de monitoreo (cuatro periodos estivales), donde en verano se debe realizar mayor cantidad debido a que ocurre mayor número de eventos de contaminación, para posteriormente hacer su modelación	CAPE IDEPE DGA	2004	104-105	Ambas	Cualitativa	Monitoreo	2.80	1.20	2.65		1.45			(5) Frecuencia actual insuficiente
			UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cualitativa									
			Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Ambas	Cuantitativa									
			CONAMA	1999	4	Ambas	Cualitativa									
	4	Plataforma única de monitoreo de calidad de agua disponible a la ciudadanía	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Ambas	Cualitativa	Educación ambiental	2.90	1.50	2.65		1.45		(38) Fundamentos para evaluar, tomar decisión, mejorar, proyectos, casos futuros.	
	8	Ubicar estaciones de control (estaciones DGA) establecidas para calibración de modelos	UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cualitativa	Monitoreo	2.44	1.56	2.65	1.45	(36) Misma ID 3; (15) Estandarizar calibración			
45	Implementar boya telemétrica de medición de Clorofila "a".	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Puntual	Cualitativa	Monitoreo	2.60	1.40	2.65	1.45	(46) Es indispensable medir la biomasa del Lago				
47	Medición simultánea de nuevos parámetros como grasas, aceites, detergentes e hidrocarburos (parámetros orgánicos)	CAPE IDEPE DGA	2004	105	Ambas	Cualitativa	Monitoreo	2.50	1.60	2.65	1.45	(38) Suma todos los parámetros necesarios, biomasa, minerales y químicos; (46) Medir en complejos habitacionales en el borde lago				
7	Incorporar en la red de observación el Monitoreo de Coliformes fecales como indicador de la descarga de aguas servidas urbanas y rurales	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Puntual	Cuantitativa	Monitoreo	2.50	1.50	2.65	1.45					
Implementación de sistemas físico-químicos de tratamiento de fósforo y otros nutrientes, que tengan por premisa, la prevención de la contaminación de los acuíferos.	44a	Métodos químicos (adición de coagulantes) y métodos mecánicos (filtrar agua, tratarla y devolverla) para la remoción de cianobacterias del agua (Acio, 2018).	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	78	Ambas	Cuantitativa	Complementarias	2.00	2.25	1.33	2.65	(13) Nada de biomanipulación sin entendimiento de la dinámica del lago; (15) Nada de vertimientos y/o adiciones de cualquier tipo de material al lago.			
	44b	Biomanipulación , se controla la biomasa algal por un lado alterando la cadena trófica, favoreciendo organismos (zooplancton y peces) que se alimentan de fitoplancton (top down strategy) y por otro lado controlando los nutrientes y energía solar (bottom up strategy).							1.00	2.83				(13) Nada de biomanipulación sin entendimiento de la dinámica del lago; (45) Demasiado complejo, existiendo otras medidas que se deben implementar con anterioridad; (44) Simplemente NO.		
	44c	Adición de químicos como sulfato de cobre para el control del bloom de algas . En ciertas dosis los iones de cobre mata a las algas, reduciendo la Clorofila en el agua.							1.33	2.67						
	44d	Aireación del hipolimnion y adición de compuestos para evitar el reciclaje de nutrientes desde el sedimento . Se usa también el dragado para remover fósforo desde el fondo, pero es muy costoso y limitado a lagos poco profundos.							1.00	2.83						

Medida agrupada	ID medidas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipo de medida	Promedio medida		Promedio macromedida		Observaciones
									Prioridad	Plazo	Prioridad	Plazo	
Alimentar modelos matemáticos de predicción de comportamiento de los contaminantes del Lago Villarrica, incluyendo indicadores biológicos y de producción agrícola.	35	Establecer un listado de prioridades y estado de calidad de ríos por tramo o subcuenca	UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cuantitativa	Gestión	2.75	2.00	2.63	1.79	(39) Incorporar dentro del plan como medida del tipo "estudio" que sirva de insumo para una futura actualización del plan; Carlos Esse explica el estudio UCT del Imperial-> identificación de afluentes + imps de la cuenca en priorización y conservación, estado vegetación ripariana, calidad de aguas. Rocio Toro dice que si es un insumo para el PDA o para el anteproyecto del Plan. Marta dice que hay estados de calidad por tramos ya levantados (línea de base). Esse-> implementar sistema de monitoreo post PDA del lago, params de calidad ya identificar el origen de la contaminación difusa. **Diseño e implementación de plan de control y monitoreo, como compromiso que incluya determinar las fuentes puntuales y difusas a nivel de subcuenca. El monitoreo no hacerlo sólo en el lago, no sólo 5 pto.... monitorear
	49	Estimar la capacidad de carga de la cuenca (total)	Estudio UCT	2012	98	Ambas	Cualitativa	Monitoreo	2.63	2.00			(39) Incorporar dentro del plan como medida del tipo "estudio" que sirva de insumo para una futura actualización del plan; MaríaTeresa y Moni dicen q es necesaria tener conocimiento de la capacidad de carga. Dudas con las fuentes difusas, su origen. Para el plan se puede incorporar nuevos estudios, nuevas estimaciones de fuentes. Toro dice q es posible hacer una actualización del plan y se hace dentro de los 5 años (revisado y actualizado). Aumentar la frec y puntos monitoreados.
	51	Para poder evaluar la evolución del P y N en la actividades silvoagropecuarias, se proponen los siguientes indicadores : Superficie cultivada por distrito censal (agrícola), Superficie plantada por distrito censal (forestal), Densidad de animales por hectárea, Intensidad de uso de fertilizantes y agroquímicos (masa/volumen/hectárea) + georreferenciación .	UDD	2016	44-45	Difusa	Cualitativa	Monitoreo	2.50	1.38			IDAP y SAG (muni Pucón), como insumo necesario para poder desarrollar al PDA. Posible incorporar la materia orgánica disuelta (dice q falta Esse) de origen antrópico y natural. Solicitar el tipo de agroqcos y concentraciones de aplicación: a nivel subcuenca. Que el servicio implicado monitoree, sean rigurosos con la info, mantener registros actualizados y + precisos. Esse-> propone una plataforma de info centralizada para recabar todo
Construcción de sistemas de tratamiento de aguas servidas a niveles comunales y sectoriales, ampliando la red de alcantarillado a todos los sectores con alta densidad poblacional con ausencia de tratamiento.	13	Se propone que en las zonas 7, 8, 14 y 15 (ver mapa de carga por zona construida borde lago sur Villarrica, MMA-UFRO, 2018) que tienen alta influencia en la carga de fósforo y nitrógeno, se construyan pequeñas plantas de tratamiento, plantas elevadoras de aguas servidas o humedales artificiales para disminuir la carga orgánica y nutrientes descargados al lago.	UFRO	2018	112	Difusa	Cuantitativa	Residencial	3.00	2.13	2.85	2.38	(20) Hoteles, condominios más antiguos y más cerca de la ribera, priorizar en un plan parcializado, con gradualidad dependiendo de la cercanía y permanencia habitacional; (39) Exigencia gradual de tratamiento de aguas. Menor tiempo a instalaciones cercanas al lago y de mayor antigüedad; (Rocio Toro) Pensar medida y responsable-> poner subsidio ya implantar el sistema alcantarillado X (similar al del Plan del Aire). En un plazo X definida en el Plan definir el plazo de ejecución, definir plazos en el plan. Los primeros años los cercanos al lago y que lleven más tiempo (+ permanencia), de manera gradual la construcción de las plantas de trat. secundaria.
	17	Garantizar un buen rendimiento de plantas de alcantarillado (PTAS Pucón)	UACH	2009	19	Puntual	Cuantitativa	Residencial	3.00	3.00			(39) Mejorar conectividad y aumentar la capacidad para el verano; Planta secundaria (hay personas cercanas al PTAS que no están conectadas al alcantarillado)+ piscinas de decantación (piscinas de emergencia como aliviaderos). Viviendas no conectadas al alcantarillado pero si al agua potable (3 millones x conexión x vivienda). Funciona bien pero hay q ampliarla, no da abasto a toda la población (en verano hasta 5 veces se amplía la población de Pucón). **Mejorar la conectividad y aumentar la capacidad de la planta (posible ampliación de PTAS) considerando sistemas que cubran todo borde lago
	18	Mejoramiento integral sistema alcantarillado de Pucón, Villarrica y expansión	CONAMA	1999	1	Ambas	Cuantitativa	Residencial	2.63	3.00			Subsidios/copagos xa personas con ciertos requisitos de postulación para lograr conectar el 100%.
	19 y 20a	(19) Diseño largo plazo de alcantarillado en la zona interurbana Villarrica-Pucón, o mejora de sistemas de fosas sépticas. (20a) Incorporar en el diseño del alcantarillado un colector de aguas lluvia	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Residencial	2.63	2.75			(39) Implementar colectores de aguas lluvias; Implementación conector de aguas lluvias, en sistemas interurbanos pucón y villarrica (alcantarillado en la 17 y 18)
			Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Residencial					
20b	Modificar D.S 236 de 1926 sobre sistema de alcantarillados particulares (casas ribereñas)	CONAMA	1999	1	Difusa	Cualitativa	Residencial	3.00	1.00	(20) No se deben permitir casas ribereñas; Se propone dejar nulo el DS (prohibición de tener Fosas sépticas, cámaras y letrinas) para la subcuenca del Villarrica			
Creación de instrumentos económicos para el incentivo de las mejoras implementadas en el PDA que incluyan impuestos verdes, programas para la gestión ambiental municipal, sellos ambientales con apoyo internacional, fomento de buenas prácticas agrícolas y subsidios para la mejora productiva sustentable.	21	Impuesto informado a los turistas, cuyo dinero sea destinado a proyectos que apoyen la descontaminación del lago como la construcción de la red de alcantarillado Pucón-Villarrica.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Puntual	Cualitativa	General	2.00	2.00	2.66	1.68	(20) Sello a empresas y comercio, donde se informe a los turistas que prefieran el consumo a productos y servicios con este sello; (39) No se entiende foco; Impuesto aplicado empresas de turismo (anular). Informar a los turistas en plan de educación ambiental xa q el turista haga turismo verde. No es incrementar el impuesto pq no se puede, entregar sellos a las empresas ecoturismo para que mejore su empresa. Fomento de programa de turismo sustentable a las empresas. fomento al turista xa q ocupen estas empresas. La Seremi de MedioAmbiente hace seguimiento. Fusión 21 y 31
	27	Programa de apoyo a la gestión ambiental municipal.	CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa	Educación ambiental	2.75	1.00			(39) Los municipios deberán generar un plan de trabajo anual con acciones de descontaminación del lago; (49) Municipalidad debe implementar un plan de trabajo anual que sea compatible con la gestión SCAM; Carolina-> Certificación municipal: dentro del SCAM programa específico o prioritario dentro del municipio, dentro de su planificación. En los planes de trabajo anual, que hace el municipio para el PDA. Municipio haga plan de trabajo específico con compromiso al PDA (metas compromisos y acciones).
	30	Difusión y educación en materia de conservación de ecosistemas acuáticos.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental	3.00	1.63			Moni-> generar ordenanzas muni de protecc de humedales y d las cuencas y subcuencas, con difusión.[DAEM de los municipios y educación la Seremi de Educación]. Rocio propone dividir en 30a y 30b, una educac formal en colegios (inclusion en el PADEM y SNCAE del PDA) y acciones de difusión/sensibilización a la comunidad.
	31	Otorgamiento de un sello ambiental para aquellas empresas, organizaciones o personas que reduzcan voluntariamente sus contaminantes en la cuenca.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental	2.63	2.13			Certificación y sello verde sólo con Sernatur. También APL u otros instrumentos para la certificación y sellos.
	32	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica: B) Instrumentos de gestión ambiental: compensaciones de emisiones y certificación	Acta 1ºseminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Puntual	Cuantitativa	General	2.25	2.13			(20) Enfocado a la prevención y no usar el concepto el que contamina paga. No a las compensaciones; (39) Para proyectos evaluados en el SEA, incorporar Ifimete para compensar; Aplicar las compensación de emisiones + multa cuando una contaminación (Moni). Alejandra propone no compensar pq igual se contamina. Rocio dice dejarlo para piscicults y PTAS (xa proys a evaluar en el SEIA), poner compensación y un límite para proyectos nuevos crearlo un instrumento para su aplicación
	33	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica: C) Difusión de implementación de medidas en la comunidad	Acta 1ºseminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental	3.00	1.88			
	41	Implementar impuestos verdes , el que contamina paga.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	79	Ambas	Cualitativa	General	3.00	1.00			(20) Esto es materia de ley que no aplica en este caso
Implementación de sistemas físico-químicos de tratamiento de fósforo y otros nutrientes, que tengan por premisa, la prevención de la contaminación de los acuíferos	37	Prohibición de fósforo en los detergentes .	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Educación ambiental	2.88	2.13	2.88	2.13	Rocio propone que lavanderías y hoteles que usen esos detergentes y q hayan asociados al sello verde ambiental (medida 31)

Figura 22. Agrupación de medidas aplicadas a FUENTES PUNTALES discutidas en el taller de trabajo del PDA Lago Villarrica

Medida agrupada	ID medidas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipo de medida	Promedios medidas		Promedios macromedidas		Observaciones
									Prioridad	Plazos	Prioridad	Plazos	
Implementación de Mejores Técnicas Disponibles (MTD) asociadas al tratamiento de efluentes provenientes de pisciculturas, restringiendo la captación de agua para dilución de contaminación, incentivando a la industria acuícola a invertir en mejoras y optimización de sus procesos.	57	Pisciculturas: aplicación de un Proceso continuo de cultivo de microalgas para la producción de biomasa utilizando un fotobiorreactor de membrana.	UFRO	2018	106	Puntual	Cuantitativa	Industrial	1.79	3.00	2.23	2.74	(1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales (4) Ricardo López; (25) Juan Manuel Toro; (24) Rodrigo Torrijo; (31) Francisco Lobos; (47) Jose Luis Rodriguez; (35) Rodrigo Fuentes; (32) Felipe Pereda; (14) Luis Muñoz; (10) Carol Fernandols; (17/18) Ingrid Suazo/M. Schulz; (37) Gabriel Gavilán; (26) Alejandra Bejcek; (33) Marioly Flores; (2) German Malig
	58	Pisciculturas: utilización de humedales artificiales	UFRO	2018	106	Puntual	Cuantitativa	Industrial	1.64	3.00			(4/25) Requerirá comprar superficies cultivables, lo que en la cuenca del Villarrica es muy caro; (14) Sistema con bastante información en literatura, sistema efectivo y de bajo costo. Si bien las cargas hidráulicas son claves, se podría orientar a abordar las líneas, procesos y/o etapas críticas de forma de no abordar la totalidad del flujo; (14) Sistema altamente eficiente, no obstante, este tipo de procesos técnicamente es poco viable dado la alta demanda energética, operación completa y mantención.
	59	Pisciculturas: utilización de membranas	UFRO	2018	108	Puntual	Cuantitativa	Industrial	1.46	3.00			(4 y 25) Los volúmenes de agua usados en pisciculturas dificultan la operación; (25) Demanda energética alta; (14) Este tipo de acciones permiten reducir flujos de y cargas, se optimiza el manejo de riles haciendo más eficiente el implementar procesos de tratamiento focalizados.
	60, 64 y 66	(60) Establecer un límite máximo de extracción de agua . Esta medida fue incorporada en la legislación europea (SustainAqua, 2009), forzando a las empresas acuícolas a implementar tecnologías que permiten el reutilización del agua , para mantener sus niveles de producción. Esta medida, impide la dilución de contaminantes al tener acceso a grandes cantidades de agua. En el caso de Hungría, se aplica una tasa a los vertidos industriales, sobre la base de cargas anuales vertidas, la cual es destinada a estudios, protección y mejora del cuerpo receptor. (64) Cambiar gradualmente de sistema de flujo abierto a recirculación de agua , incorporando tratamiento biológico a su sistema de tratamiento. Los costos de inversión son reducidos y los de operación y mantenimiento se basan en consumo energético y en equipos de desinfección (Amphos 21, 2014). (66) Incentivar sistemas de recirculación para disminuir carga de pisciculturas.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control	2.05	2.50			(25) Para la zona en cuestión, esta tecnología no aplicaría por su costo y capacidad técnica de lograr una operación eficiente; (47) Reutilizar parte del efluente será una muy buena medida, pero hay que tomar en cuenta que los derechos son de carácter no consuntivo y el tratamiento al flujo recirculado debe tener un tratamiento óptimo para no provocar problemas sanitarios en la calidad de los productos acuícolas.
			Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial					(4) Interesante explorar en proyectos vigentes. Reduce el volumen de agua a tratar, sin embargo, no reduce los nutrientes que se emiten; (25) Para la zona en cuestión, esta tecnología no aplicaría por su costo y capacidad técnica de lograr una operación eficiente.
			AGIES NSCA MMA	2011	8	Puntual	Cuantitativa	General					(4) En proyectos actuales, es muy difícil y económicamente inviable transformar procesos actuales a recirculación. Si se podría en proyectos nuevos a ingresar; (25) Para la zona en cuestión, esta tecnología no aplicaría por su costo y capacidad técnica de lograr una operación eficiente.
	67	Evaluar la asignación de cargas de emisión (TMDL) para las pisciculturas de la subcuenca Pucón	Estudio UCT	2012	98	Puntual	Cuantitativa	Control	2.64	2.64			(4) Pasa por una muy buena evaluación del aporte de las pisciculturas. Necesita que técnicas de cuantificación disminuyan límites de detección; (25) Medida interesante pero se requiere conocer más de ella.
	68	Las pisciculturas en tierra deben disponer de sistemas para reducir la cantidad de sólidos suspendidos en sus descargas (piletas de decantación y/o filtros rotatorios, los cuales tienen una eficiencia de al menos un 80%)	UACH	2009	11	Puntual	Cuantitativa	Industrial	2.85	2.85			(4) Esto ya existe, y la retención es mayor que el 80% de SS; (15) Los sistemas de decantación y/i rotofiltro están focalizados a material particulado. El foco debe irse al componente soluble.
	69	Homogeneizar los procesos de cultivo de la manera más eficiente y ambientalmente seguras para todas las pisciculturas de la cuenca. Incorporar los alimentos más adecuados a todas las pisciculturas, uso de dispensadores automáticos para reducir pérdida de alimentos y exigir el uso exclusivo de detergentes biodegradables en la desinfección de las unidades de cultivo. Posibilidad de reducir fármacos por uso de buenas prácticas.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial	2.92	2.92			(4) No es posible homologar los procesos productivos de todas las pisciculturas de la cuenca. Cada una tiene singularidades. Si es posible establecer prácticas equivalentes en el uso de alimentación y químicos; (25) Esto ya se hace.
	70	Establecer condiciones mínimas para las nuevas pisciculturas que se establezcan en la cuenca tales como un sistema de recirculación de agua.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control	2.08	2.08			(4) Dependerá de la disponibilidad de agua y del tipo de estrategia que tenga la piscicultura. No se puede obligar al privado.
78	Herramientas o incentivos para el uso de los efluentes de pisciculturas tales como cultivo de vegetales que utilicen los nutrientes para su producción.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa		2.67	2.67	(4) Interesante explorar qué tipo de incentivos.			
Establecer menores límites de detección de reportes de pisciculturas, generando, además, límites menores de carga de nutrientes diarios/mensuales de sus efluentes. Considerar aumento en el valor de las multas y mayor inversión en fiscalización estatal.	55	Aplicación de multas si se sobrepasa el límite de carga establecido para cada piscicultura, utilizando el recurso generado para mediciones y monitoreo en el Lago o cauces de la cuenca. Estas medidas fuerzan a los productores a encontrar métodos de tratamientos rentables y eficaces.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	General	2.21	1.64	2.35	1.57	(4) Lo necesario acá es mejorar las técnicas analíticas que otorguen límites de detección menores para un adecuado diagnóstico por piscicultura; (14) El enfoque debe ir en la línea que hoy permite la ley 20417 en cuanto a permitir planes de cumplimiento más que aplicar multas. Lo anterior permite y obliga al infractor a hacerse cargo del problema.
	56	Establecer un límite de carga de nutriente diaria o mensual en base a la producción anual de las pisciculturas. Esta carga máxima para las pisciculturas debiera estar en función de su cercanía al Lago y obtenerse a través de modelos.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	75	Puntual	Cuantitativa	Control	2.36	1.64			(4) El límite de carga debiese evaluarse por la cuenca y no por cercanía al lago.
	71	Modificar número de parámetros y LD de reportes de pisciculturas (SNIFA) por Decreto.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	Puntual	Cuantitativa	Control	2.50	1.60			(4) Los límites de detección deben ser mejorados, no implicando cambios directos en exigencia de la norma
	72	Se debe mejorar la fiscalización de las actividades de las pisciculturas (Trancura, Molco, Correntoso etc.) y considerar la limitación de las descargas.	UACH	2009	55	Puntual	Cuantitativa	Control	2.09	1.36			(4) La fiscalización debe ejecutarse según estándares internacionales. Integrar a SEREMIS sectoriales. Ello suma; (25) Considerar que laboratorios que hacen muestreos de efluentes estén normados por la autoridad.
	73	Establecer menores límites de detección en los reportes que entregan las empresas a la autoridad competente de tal manera de poder contrastar las estimaciones teóricas de emisión de contaminantes con el valor medido directamente en el efluente.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control	2.60	1.60			(4) Implicará un costo monetario

Medida agrupada	ID medidas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipo de medida	Promedios medidas		Promedios macromedidas		Observaciones
									Prioridad	Plazos	Prioridad	Plazos	
Implementación de mejoras a las PTAS existentes e instalación de PTAS en urbes que no la poseen	61	Tecnologías de abatimiento: Planta de Tratamiento de Aguas servidas de Pucón Lodos activados con un flujo continuo del efluente + precipitación fisicoquímica que promueva la precipitación de fosfato y el reajuste o extensión de una planta para incrementar la remoción biológica por microorganismos (remoción de P); ** Disminuir de 2 mg/l a 1 mg/l la concentración del efluente, esto dado que, en muchos casos, de acuerdo a los reportes de la SIS5, se alcanzan estas reducciones con la tecnología que la planta presenta actualmente. ** Establecer una concentración de 0.1 mg/l. In	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	73	Puntual	Cuantitativa	Residencial	2.42	1.58	2.56	1.44	(4) Modificación e incorporación de la totalidad de domicilios y proyectos inmobiliarios y turísticos; (14) La actual planta remueve parámetros de forma biológica con apoyo de asistencia química. Habría que evaluar la relación de costo/beneficio. ¿Es válida esta reducción adicional? ¿Cuánto aporta comparativamente esta mejora en el aporte al lago?
	65	Medidas de descontaminación aguas servidas de Curarrehue: implementación de una Planta de tratamiento de aguas servidas en Curarrehue con tratamiento secundario o bien el tratamiento separado de cada uno de los 7 puntos de descarga.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Ambas	Cuantitativa	Residencial	2.85	1.31			(4) Urgente incorporar esta comuna al sistema de PTAS; (14) Tratar las 7 descargas por separado en un costo que quizá no sea lo más óptimo.
	76	Precipitación química para remover fósforo, los agentes más empleados son: Sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃ , Cloruro férrico (FeCl ₃), Sulfato férrico Fe ₂ (SO ₄) ₃ , Cal o hidróxido sódico Ca(OH) ₂ , Ácido hidroclicórico o sulfúrico (NaOH) y Sulfuro sódico.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	75	Puntual	Cuantitativa	Industrial	2.58	1.25			
	77	Incorporar filtros rotatorios con micropaneles inferiores. En el mercado se encuentran filtros de hasta 30 µm, el precio de los filtros incrementa al disminuir el tamaño del poro (Oxicom Aquaculture).	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial	2.00	1.77			
	34	Tratamiento de aguas residuales de descargas en el entorno del Lago (canales urbanos y tuberías)	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Puntual	Cuantitativa	Residencial Industrial	2.93	1.29			

Tabla 23. Agrupación de medidas aplicadas a FUENTES DIFUSAS discutidas en el taller del trabajo del PDA Lago Villarrica

Medida agrupada	ID medidas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipo de medida	Promedios medidas		Promedios macromedidas		Observaciones
									Prioridad	Plazos	Prioridad	Plazos	
Fomentar buenas prácticas de usos de suelo, considerando restricciones para disminuir la erosión y sedimentación de nutrientes. Además, considerar censos agrícolas para conocer el aporte de nutrientes del sector agropecuario	79	Disminuir usos de suelo de praderas y terrenos de uso agrícola	Estudio UCT	2012	99	Difusa	Cuantitativa	Agricultura	1.50	2.67	2.19	1.84	(1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales (48) Marcelo Santos; (09) Nicolás Gálvez; (23) Francisco Hernández; (19) Denise Ginere; (7) Sergio Morales Saez; (3) Gustavo Ciudad; (6) Roberto Moreno; (8) Gerardo Perez; Cristian Lineros; (43) Evelyn Silva; (27) Boris Pacheco
	80	Buenas prácticas de manejo de suelos	UACH	2009	19	Difusa	Cualitativa	General	2.82	1.36			(Boris) Incentivar plantación en la ribera del Lago Villarrica (XX) No existe mecanismo de solicitud de información al SAG sobre el uso de lodos de Aguas Araucanía.
	36 y 38	(36) Fomento de prácticas agroecológicas y desincentivo desde el estado a prácticas que promueven uso de aditivos (agroquímicos) de nutrientes al lago. Políticas de incentivo para la reducción del uso de fósforo, como remover subsidios que promuevan el excesivo consumo de fertilizantes. (38) Promover la agricultura orgánica a través de subsidios que atraigan a los agricultores y elaborar marketing de productos regionales través de una estrecha relación entre productores, comerciantes y consumidores.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Difusa agricultura	2.45	1.64			(22) Enfatizar que el la mayoría de estas prácticas "agrícolas" son en realidad, agropastoreo y que las medidas debiesen centrarse en ello. (09) Se debe tener cuidado con el concepto de agricultura orgánica, dado que dichas prácticas no están exentas de aportes de Nitrógeno.
			Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Difusa agricultura					
	84	Los agricultores pueden reducir la erosión y sedimentación (20-90%) a través de: la aplicación de mejores técnicas de irrigación para controlar el volumen y la tasa de flujo del agua, mejorar la eficiencia del agua y reducir el transporte y movimiento del suelo (Sharpley et al. 1994).	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Agricultura	1.73	2.45			No se dan comentarios con respecto a esta medida
	83	Proteger zonas erosionadas con barreras de arenas. La erosión del suelo puede ser reducida eliminando la deforestación y técnicas de quemado en agricultura.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	General	1.73	1.82			(19) Se debe diferenciar las quemas residenciales y de las quemas de rastrojo, dado que sus magnitudes son distintas. (07) Existen brechas de plazo y económicas que deben capeadas antes de asegurar este tipo de medidas.
	81	Restricción de carga de contaminantes en lagos: restringir los inputs de fósforo, reducir la erosión del suelo y desarrollar nuevas tecnologías para limitar suelos enriquecidos de fósforo	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	75	Ambas	Cuantitativa	Control	2.50	1.30			(19) No premiar el uso de fósforo o entrega de aditivos químicos para producción agrícola. (22) Disminuir en vez de restringir.
	82	Herramientas Tecnológicas de Descontaminación en Lagos: C) Medidas para reducción de nutrientes por contaminación difusa (agricultura y usos de suelo y aguas subterráneas)	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Puntual	Cualitativa	General	2.00	2.10			
85	Plan de reforestación con vegetación nativa en áreas riparianas en la cuenca. Esta vegetación actúa como buffer entre campos y lagos y es necesaria para disminuir el exceso de nutrientes por escorrentía (Jorgensen 2001). Al mismo tiempo, proteger las zonas donde exista vegetación ripariana contra la deforestación y del lago Villarrica.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Normativo	2.82	1.36	(22) Enfocarse en la educación ambiental de la población. (19) Incorporar la estructura del bosque, realizar catastro de las zonas riparianas, la capacidad de carga			
		AGIES NSCA MMA	2011	8	Difusa	Cualitativa							
		Estudio UCT	2012	99	Difusa	Cualitativa							
Desarrollar un sistema de remoción de nutrientes hacia la zona pelagial del Lago Villarrica, el cual sea monitoreado y utilizado como bioindicador de la salud de este acuífero.	10	Generar incentivos para la reforestación y forestación de bosque nativo siempre-verde de las áreas identificadas como potencialmente forestables	Estudio UCT	2012	99	Difusa	Cuantitativa	General	2.82	1.36	2.80	1.50	(07) Utilizar ley de forestación y adecuarlas a las condiciones del la ribera del Lago. Generar metas de cumplimiento
	75	Solicitar o proponer incentivo a la la conexión de viviendas urbanas no conectadas a alcantarillado de Villarrica - Pucón.	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Difusa	Cuantitativa	General	2.73	1.73			(22) Ejecutar un sumario sanitario de las viviendas con fosas sépticas en el radio urbano de Villarrica y Pucón. (27) Establecer plazos de gradualidad del cumplimiento de esta medida.
	42	"Densificación de vegetación zona ripariana"—La zona ripariana remueve el nitrato del agua a través de varios mecanismos: absorción por las plantas, desnitrificación por bacterias, inmovilización y reducción del nitrato a amonio.	ECOHYD-MMA	2016	55	Difusa	Cuantitativa	Gestión	2.73	1.55			(19) Incorporar e intensificar la protección de las zonas riparianas. (9) Catastrar a los/las propietarios/as de de zonas riparianas y generar educación e incentivos para el cuidado de estas.
	43	Mantener zonas buffer alrededor de los márgenes del lago y los afluentes, lo que se traduce en la aplicación de la ley 20283 sobre Protección del Bosque Nativo y Fomento Forestal	UACH	2009	55	Ambas	Cuantitativa	Gestión	2.91	1.36			(07) Se debe evaluar como abordar, a partir de un DS la Ley, y como complementarla.
Otras	86	Pedir certificado a los usuarios que contratan el servicio de camiones limpia fosas	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Difusa	Cuantitativa	Control	2.27	1.45	2.19	1.91	(22) Resulta más óptimo certificar los prestadores de estos servicios. (7) Generar mecanismos de control ciudadano para evitar la contratación de camiones limpia fosas no autorizados. (22) Generar control del lugar de disposición final de los lodos
	87	La generación de biofiltros ha sido demostrado que son medidas eficientes para el control de contaminación del flujo subsuperficial que provienen de fuentes difusas	ECOHYD-MMA	2016	7	Difusa	Cuantitativa	General	2.27	2.09			(3) Es complejo aplicar esta medida, dado a que se desconoce la infiltración individual de cada fosa séptica (22) Que sea exigencia de los loteos, conexiones a biofiltros para el tratamiento de aguas servidas.
	88	Usar el lodo como fertilizante de agricultura o para la producción de biogás.	Informe Claudia Espinoza (MMA)	2017	76	Puntual	Cuantitativa	General	2.20	2.00			(3) Esta medida implica inversión de privados, como Aguas Araucanía, en la infraestructura para producción de biogás. (27) Especificar el tipo de lodo.
	53	Herramientas Tecnológicas de Descontaminación en Lagos: D) Medidas para reducción de nutrientes por fuentes domiciliarias difusas .	Acta 1° seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Puntual	Cualitativa	General	2.20	2.00			(22) Especificar qué medidas se requerirían, ¿biofiltros? ¿humedales?
	28	Acuerdo de cooperación con Departamento de Ecología del Estado de Washington EEUU —CONAMA sobre gestión lacustre	CONAMA	1999	4	Ambas	Cualitativa	General	2.00	2.00			

5.4 Taller 2.

Las medidas identificadas y clasificadas en la Etapa 4.2 y luego analizadas y sistematizadas en la sección 5.3 fueron presentadas y discutidas en un segundo taller de trabajo para su discusión. Este segundo taller fue realizado el miércoles 21 de noviembre de 2018 en dependencias de la Universidad de La Frontera. La lista de participantes y registro fotográfico se presenta en el Anexo 3. Al Taller asistieron 41 personas registradas, más 6 profesionales del Centro de Gestión y Tecnologías del Agua (UFRO) no registrados.

Esta actividad se llevó a cabo en un salón auditorium donde se dieron a conocer los aspectos más relevantes de la información analizada para cada una de las temáticas (Gestión, Puntual y Difusas).

Respecto a la **temática de Gestión**, los puntos más importantes corresponden a la implementación de un PDA para el Lago Villarrica, el cual considere: monitoreo constante, normas de emisión asociados a límites de cargas de contaminantes anuales en todos los esteros y ríos de la cuenca, control de remoción de áridos en los afluentes aportantes, mejora de estándares de construcción en la ribera del Lago y regulación en el uso de lanchas y botes.

Otro aspecto importante es la mejora el sistema de monitoreo actual, considerando parámetros orgánicos, mayor periodicidad de recolección de la información, y acceso público a la información.

Por último, se plantea la creación de instrumentos económicos para el incentivo de las mejoras implementadas en el PDA que incluyan impuestos verdes, programas para la gestión ambiental municipal, sellos ambientales con apoyo internacional, fomento de buenas prácticas agrícolas y subsidios para la mejora productiva sustentable.

Por otro lado, lo más relevante respecto de la **temática Fuentes Puntuales** fue el hecho de establecer menores límites de detección para los reportes generados por las mismas pisciculturas y el establecimiento de límites carga de nutrientes diarios/mensuales/anuales para cada fuente puntual. Considerar aumento en el valor de las multas y mayor inversión en fiscalización estatal.

También la Implementación de mejoras a las PTAS existentes e instalación de PTAS en urbes que no la poseen es uno de los aspectos que el análisis a fuentes puntuales destacó en el segundo taller.

Finalmente, en la **temática Fuentes Difusas** el aspecto más relevante del análisis consistió en el desarrollo de un sistema de remoción de nutrientes en las fuentes y cauces aportantes al Lago Villarrica, el cual sea monitoreado y utilizado como bioindicador de la salud de este acuífero, de forma más específica, desarrollar una estrategia de reforestación de ribera de ríos con especies con altos índices de retención de nutrientes (vegetación ripariana).

5.5 Propuesta de Medidas de reducción a Mediano y Largo Plazo

Respecto a la dificultad de establecer medidas concretas de reducción, aún existiendo 88 propuestas recogidas en más de 12 estudios realizados en la cuenca, es posible dilucidar las siguientes propuestas de solución. Sin embargo, la autoridad competente es quien decidirá finalmente cuales de las 88 medidas son las que deberán ser incorporadas en un PDA para el Lago Villarrica.

5.5.1 Propuestas UFRO: Medida de Gestión

1. Establecer Límites Máximos de Carga Diaria (TMDL, por sus siglas en inglés) para cada uno de los ríos y esteros aportantes al Lago Villarrica y que posean algún tipo de actividad antrópica en a la microcuenca de base (tipo industrial, turística, agrícola y forestal).
 - a. Identificación de principales fuentes de contaminación; logrado en parte por MMA-UCT (2012) y MMA-UFRO (2018).
 - b. Establecer el estado natural de las microcuencas, asumiendo “cero” intervención antrópica versus situación actual.
 - c. Identificación de mayores brechas de calidad entre el estado natural de la cuenca y el estado actual de cada microcuenca.
 - d. Asignación de carga a cada una de las fuentes identificadas (puntuales, difusas: antrópicas y biogénicas).
 - e. Establecer un objetivo de reducción de carga de nutrientes en cada una de las microcuencas identificadas con algún tipo de intervención antrópica, focalizando como punto de cierre la desembocadura al Lago de cada uno de los ríos y esteros de mayor interés.
 - f. Establecer un plan de gestión integrada de cuencas para toda la cuenca del Lago Villarrica.
2. Establecer mecanismos de incentivo tributario para la implementación de nuevas tecnologías de tratamiento, enfocado en fuentes puntuales y fuentes difusas.
3. Crear un plan de monitoreo mensual y financiado para el Lago Villarrica.
4. Crear un plan de monitoreo mensual y financiado para los principales ríos y esteros aportantes al Lago Villarrica, con un número mínimo de puntos igual al propuesto por MMA-UFRO (2018) .
5. Construcción de un colector de aguas residuales urbanas y rurales entre Villarrica y Pucón, lo cual daría solución al problema de fosas sépticas detectado por (MMA-UFRO, 2018) en la ribera sur del Lago Villarrica.

5.5.2 Propuestas UFRO: Medida para fuentes puntuales

Las medidas más importantes a ser consideradas para las fuentes puntuales se pueden resumir como sigue:

1. Asignar un límite de descarga a cada una de las empresas presentes en la cuenca en función de los TMDL determinados y establecidos en la etapa de Gestión.
2. Construir una planta de tratamiento para todo el casco urbano de Curarrehue.
3. Establecer un plan de reducción de carga en el tiempo con un límite objetivo en función de la meta que establezca la autoridad competente, basado en los TMDL.
4. Establecer un mercado de emisiones transables para regular la ampliación de faenas o el ingreso de nuevas empresas en la zona.
5. Exigir, a todas las nuevas empresas piscícolas que deseen ingresar a la cuenca, un sistema de cultivo de recirculación superior al 95% y un sistema de tratamiento en concordancia al cumplimiento de los TMDL.
6. Aumentar la exigencia del número de parámetros de control de emisiones a ocho (8) parámetros y ajustar el límite de detección para cada uno de ellos en función de la siguiente propuesta:

Parámetros	Límite de Detección	Método
1 Fósforo Total (P)	0.0004 mg/L	SM 4500-P E (2005)
2 Fósforo Disuelto (P-PO4-3)	0.001 mg/L	SM 4500P E (2005)
3 Nitrato (NO3)	0.003 mg/L	SM 4500 NO3E (2005)
4 Nitrito (NO2)	0.001 mg/L	ME-17-2007
5 Nitrógeno Amoniacal (N)	0.009 mg N-NH4/L	SM 4500-NH3 F (2005)
6 Nitrógeno Total (NT)	0.01 mg/L	Cálculo
7 Nitrógeno Total Kjeldahl (NKT)	0.001 mg/L	SM 4500-Norg B-C/NH3-F
8 Clorofila a	0.02 µg/L	SM 10200-H2c (2012)

5.5.3 Propuestas UFRO: Medida para fuentes difusas

Las medidas más importantes a ser consideradas para las fuentes difusas se pueden resumir como sigue:

1. Establecer incentivos económicos a la reforestación de las zonas riparianas de la cuenca del Lago Villarrica con especies de alto potencial para la retención de nutrientes.
2. Revisar la Ley 20.283 y complementarla, de ser el caso, para mantener zonas buffer alrededor de los márgenes del Lago Villarrica.



3. Identificar zonas de mayor estrés inmobiliario en la ribera sur del Lago Villarrica, entre Villarrica y Pucón, en los que sea posible desarrollar sistemas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias.
4. No permitir nuevos desarrollos inmobiliarios que no consideren una planta elevadora a un sistema de alcantarillado o una planta de tratamiento de aguas servidas.
5. Definir un plan regulador intercomunal entre Villarrica y Pucón que regule la construcción de viviendas, edificios y hoteles en la ribera sur, considerando como factor crítico los puntos 3 y 4 recién descritos.



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

RESULTADOS

Objetivo Específico 3

Evaluación, mediante modelos de transporte, de un conjunto de medidas para reducir la carga de nutrientes proveniente de los principales cauces aportantes al Lago Villarrica.

6. RESULTADOS (OE 3)

6.1 Estimación del aporte de nutrientes de centros termales y otros puntos de interés

Los datos reportados en este apartado, no fueron incorporados a la modelación WASP ni N-SPECT debido a que son datos que no cuentan con una temporalidad suficiente como para construir una base de datos consistente con las exigencias de la metodología establecida en el presente estudio. Sin embargo, tal como se mostrará a continuación, de todas las posibles fuentes de contaminación identificadas por la mesa técnica, las cargas han sido calculadas asumiendo que todas ellas son constantes, tanto en flujo como concentración de nutrientes, calculando de esa manera su aporte anual, lo cual correspondería tan solo a un supuesto y no a la realidad de cada caso. Para desarrollar un análisis más profundo es necesario realizar un número de muestreos mayor al realizado en el presente estudio sumado a una mayor periodicidad de los mismos.

En este contexto, y en el marco del presente estudio, se conformó la Mesa Técnica de Trabajo para levantar información inexistente a la fecha y necesaria para abordar el Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica. Varias instituciones y empresas con implicancia en el tema, junto a agrupaciones sociales, participaron de las mesas de trabajo y en conjunto colaboraron con el levantamiento de información que se presenta a continuación:

1. Información en ríos/esteros/colectores urbanos y centros termales ubicados en la comuna de Pucón, proporcionado por Municipalidad de Pucón.
2. Datos de viviendas ubicadas en las comunas de Pucón y Villarrica sin conexión a alcantarillado, información proporcionada por Aguas Araucanía.
3. Alojamientos turísticos y aplicación de fertilizantes en la comuna de Curarrehue pertenecientes al Programa de Desarrollo Territorial Indígena, información proporcionada por Municipalidad de Curarrehue.
4. Datos de aplicación de fertilizantes del Programa de Recuperación de Suelos para Villarrica y Pucón, información proporcionada por Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).
5. Datos de aplicación de fertilizantes del Programa Incorporación Base Fosforada para Villarrica, Pucón y Curarrehue, información proporcionada por INDAP.
6. Información de puntos con descarga directa al Lago Villarrica, proporcionados por DIRECTEMAR.
7. Datos de las viviendas rurales en las comunas de Villarrica, Pucón y Curarrehue, proporcionadas por el INE (pre censo 2016).

Un resumen de la estimación de aporte de nutrientes provenientes de los 11 centros termales visitados en la comuna de Pucón (ver Tabla 6 y Tabla 10) se presenta en la Tabla 24. Este análisis permite hacer una aproximación gruesa del posible aporte, en carga, de cada centro termal, esto debido a que sólo fue posible realizar una única visita en cada



terma. Por lo anterior, el aporte anual se calculó suponiendo que el caudal de emisión en cada terma era constante, que la limpieza de las piscinas/pozones se realizaba 2 veces por semana y que las concentraciones de fósforo y nitrógeno eran homogéneas y constantes durante todos los días del año. Con estas suposiciones, las cargas que llegarían al Lago Villarrica provenientes de los centros termales sería 1.97 ton/año de Fósforo disuelto (P-disuelto) y 4.88 ton/año de Nitrógeno Total (NT). No fue posible obtener el aporte anual de Fósforo Total, debido a que los análisis contratados por la Municipalidad de Pucón no incluían el parámetro Fósforo Total, como puede observarse en la Tabla 10.

Bajo las suposiciones antes descritas, las mayores emisiones de Nitrógeno Total provendrían del Hotel y Termas Huife con un 70.2%, Termas Pucón Indómito con un 23.5% y en tercer lugar de las Termas Montevivo con un 3.8%. Sobre las cargas de Fósforo Disuelto, los centros que más emiten serían Hotel y Termas Huife con un 92.3%, Termas Pucón Indómito con 4.9% y Termas San Luis con un 1.5%.

Tabla 24. Estimación de las cargas provenientes desde centros termales de la comuna de Pucón.

ID	Nombre río/estero receptor	Nombre terma	P-disuelto (ton/año)	P-disuelto (%)	NT (ton/año)	NT (%)
1		Termas Pucón Indómito	0.096	4.9%	1.147	23.5%
2		Termas Peumayen	0.001	0.1%	0.054	1.1%
3	R. Liucura	Termas Quimey-Co	0.003	0.1%	0.003	0.1%
4		Hotel y Termas Huife	1.818	92.3%	3.423	70.2%
5		Termas Los Pozones	0.005	0.2%	0.014	0.3%
6		Termas Liucura	0.003	0.2%	0.003	0.1%
7		Termas de Minetúe	0.001	0.027%	0.000	0.002%
8	R. Pucón o Minetúe	Termas Trancura	0.004	0.2%	0.036	0.7%
9		Termas Montevivo	0.009	0.5%	0.185	3.8%
10		Termas de San Luis	0.029	1.5%	0.012	0.3%
11	R. Pangulil	Termas de Palguín	0.001	0.1%	0.001	0.0%
TOTAL (ton/año)			1.969	100%	4.879	100%

Otra información aportada por la Municipalidad de Pucón corresponde a muestreos en ríos y esteros de interés, estos se muestran en la Tabla 25. El punto "Ojos del Caburgua_pasarela 1" corresponde a la carga que el río Caburgua trae en el punto turístico "Ojos del Caburgua", esta ubicación se encuentra antes de cualquier punto de descarga de las pisciculturas en el sector. La carga que trae el río en el sector Ojos del Caburgua equivalen en promedio a 2.91 ton/año de P-disuelto y 6.84 ton/año de NT. Otro punto de interés corresponde al colector urbano de aguas lluvia ubicado en Pucón (sector calle O'Higgins) el cual trae una carga de 2.48 ton/año de P-disuelto y 5.66 ton/año NT. Los valores de los Puentes Carmelito y Candelaria sirvieron como insumo para el cálculo de cargas directas al lago por aporte de estos dos esteros.

Tabla 25. Estimación de las cargas provenientes de ríos/esteros en la comuna de Pucón.

ID	Nombre río/estero receptor	P-disuelto (ton/año)	NT (ton/año)
MP-1	Ojos del Caburgua_pasarela1 (28-nov)	2.828	4.168
MP-1	Ojos del Caburgua_pasarela1 (18-dic)	3.005	9.517
MP-2	Colector O'Higgins	2.482	5.665
MP-3	Aguas abajo PTAS Pucón	1.530	3.000
MP-4	Puente Carmelito	0.049	0.012
MP-5	Puente Candelaria	1.580	1.911

La Tabla 26 presenta las cargas estimadas a partir de los datos levantados por DIRECTEMAR, los cuales corresponden a 5 puntos relacionados a descargas directas en el bordelago detectados por este organismo. Al igual que se mencionó anteriormente, estos datos son generales debido a la existencia de una única campaña en terreno. Estableciendo los supuestos de que estas descargas son constantes en el año, con el mismo caudal de agua y concentración de nutrientes, estos puntos aportarían con 1.83 ton/año de Fósforo Total y con 48.65 ton/año de Nitrógeno Total. El mayor aporte anual de nitrógeno y fósforo total vendría del sector Carmelito, siendo la zona de la Costanera Villarrica el segundo punto más significativo en los aportes de Nitrógeno Total reportados por la DIRECTEMAR. Para un mayor detalle de los parámetros físico-químicos utilizados por DIRECTEMAR, dirigirse a la Tabla 12.

Tabla 26. Estimación de los aportes de las descargas directas del bordelago.

ID	Punto	PT (ton/año)	PT (%)	NT (ton/año)	NT (%)
D-1	Frente PUCV	0.029	1.6%	1.765	3.6%
D-2	Castillo, Zona norte	0.306	16.7%	8.698	17.9%
D-3	Sector Carmelito	1.048	57.2%	16.521	34.0%
D-4	Estero Carmelito	0.286	15.6%	5.420	11.1%
D-5	Costanera Villarrica	0.161	8.8%	16.244	33.4%
TOTAL (ton/año)		1.831	100%	48.649	100%

Los datos facilitados por Aguas Araucanía permiten analizar la distribución de las viviendas urbanas sin conexión a alcantarillado ubicadas dentro de las ciudades de Pucón y Villarrica, ver Figura 23. Para calcular las emisiones provenientes de viviendas sin conexión se aplicó la metodología propuesta por UACH 2009 modificada según lo indicado en el estudio previo (MMA-UFRO, 2018). Las 2226 viviendas sin conexión a alcantarillado, 263 en Villarrica y 1963 en Pucón, representan unas emisiones equivalentes a 5.20 ton/año de Fósforo Total y 33.80 ton/año de Nitrógeno Total (Tabla 27). Para el cálculo fueron considerados valores típicos de producción de aguas residuales por habitante según D.S.90, 1.6 g P per cápita/día y 10.4 g N per cápita/día respectivamente. Es importante hacer notar que este cálculo asume que todas estas

emisiones llegarían, de alguna forma, al lago, lo cual es sólo un supuesto y no tendría correlación con la realidad hasta el momento.

Tabla 27. Resumen de viviendas urbanas ubicadas en la cuenca del Lago Villarrica.

Ciudad	N° viviendas	Personas	Total personas por n° viviendas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Villarrica	263	5	1315	365	0.61	3.99
Pucón	1963	5	9815	365	4.59	29.81
TOTAL	2226	5	11130	-	5.20	33.80

De la información facilitada por el INE del pre censo 2016 (Figura 23 y Figura 24), se observa que hay un total de 12855 casas rurales ubicadas dentro de la cuenca ubicadas en las comunas de Villarrica, Pucón y Curarrehue. De igual manera para poder realizar el análisis de estas casas rurales por la metodología propuesta por UACH 2009 modificada según lo indicado en el estudio previo (MMA-UFRO, 2018), se excluyeron las viviendas que se encontraban entre la ruta CH-199 y el bordelago debido a que ya fueron contabilizadas en MMA-UFRO (2018). Las estimaciones provenientes de estas viviendas (Tabla 28), representarían unas emisiones de 30.03 ton/año de Fósforo Total y 195.19 ton/año de Nitrógeno Total considerando igualmente las producciones indicadas en el párrafo anterior según D.S.90.

Tabla 28. Resumen de viviendas rurales ubicadas en la cuenca del Lago Villarrica.

Comuna	N° viviendas	Personas	Total personas por n° viviendas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Villarrica	3021	5	15105	365	7.06	45.87
Pucón	7118	5	35590	365	16.63	108.08
Curarrehue	2716	5	13580	365	6.34	41.24
TOTAL	12855	5	64275	-	30.03	195.19

Con respecto a los alojamientos turísticos, la Municipalidad de Curarrehue, facilitó datos sobre los sistemas de tratamiento de aguas servidas y la ubicación de los mismos. Para este análisis las termas se excluyeron ya que fueron analizadas previamente (Tabla 24). De estos 23 alojamientos georreferenciados en la comuna, 14 están emplazados dentro de la subcuenca del río Trancura, 2 en la del río Maichín, 2 en el río Panguí y 5 en la subcuenca del río Pucón. Para más detalle dirigirse a la



Tabla 29 y Figura 23. Con estos datos no fue posible realizar una estimación del posible aporte de Nitrógeno Total y Fósforo Total debido a que falta información de la cantidad promedio de visitantes mensual.

Tabla 29. Identificación de los alojamientos turísticos en la comuna de Curarrehue.

ID	Alojamiento turístico	Coordenadas		Tratamiento de aguas servidas
		X	Y	
MC-1	Cabañas Borderío Trancura	268428	5640720	S/I
MC-2	Cabañas Isidora	277255	5639802	S/I
MC-3	Cabañas Lomas del Trancura	280299	5631585	S/I
MC-4	Cabañas Maxmafran	277209	5639834	S/I
MC-5	Cabañas Rukayelen	277230	5639810	S/I
MC-6	Camping Carén	280421	5630364	S/I
MC-7	Camping El Chame	276990	5641720	S/I
MC-8	Camping El Laurel	265787	5640688	S/I
MC-9	Camping Karuko	278164	5638565	S/I
MC-10	Camping Los Sauces	276161	5641510	S/I
MC-11	Complejo Turístico Trancura-Puesco	281332	5623171	S/I
MC-12	Cóndor Blanco	280833	5623145	Sistema particular de alcantarillado (60 pax/mes)
MC-13	Corral del agua	290297	5652920	S/I
MC-14	Hospedaje La Mamy	277421	5639668	S/I
MC-15	Hospedaje Laguna Careau	278150	5639844	S/I
MC-16	Hospedaje Lala	277024	5640147	S/I
MC-17	Hospedaje Verónica	285820	5669702	Sistema particular de alcantarillado (15 pax/mes)
MC-18	Hospedaje y Cabañas La Palmera	277403	5639508	S/I
MC-19	Hospedaje y Cabañas Mapu Lala	265067	5641293	S/I
MC-20	Hostal Quechupewen	276855	5640299	S/I
MC-21	Kila Tai tai Lodge	276004	5643518	S/I
MC-22	Nativa Lodge	279917	5620742	Sin sistema particular de alcantarillado (40 pax/mes)
MC-23	Refugio ecológico Eco Panqui	284181	5651437	Sistema particular de alcantarillado (15 pax/mes)

Respecto de la aplicación de fertilizantes, por el momento, en el presente estudio, no fue posible realizar un cálculo de cargas asociado a actividades agrícolas, debido a dos factores críticos externos, (1) la información llegó fuera del tiempo estipulado para la ejecución del estudio, (2) se requiere un tiempo mínimo de 6 meses para establecer un formato de información compatible con la metodología N-SPECT desarrollada en este estudio y que serviría de base para facilitar la inclusión de nuevos datos de forma más fácil y rápida al modelo. Se sugiere considerar este aspecto para un futuro estudio.

De la información recopilada por el Programa SIRSD-SAG fue posible establecer la cantidad de fertilizantes (ton/año) aplicadas en 34 predios ubicados en la cuenca; de las cuales 18 parcelas están en la comuna de Villarrica y 16 en Pucón (Tabla 30). Los cultivos que principalmente recibieron fertilización en las comunas de Villarrica y Pucón (Figura 22) fueron pradera natural con 148 ha fertilizadas, avena forrajera con 39 ha y pradera ballica con 37 ha.

Tabla 30. Resumen aplicación de fertilizantes en la cuenca del Lago Villarrica provenientes de Villarrica y Pucón, Programa SIRSD-SAG.

Localidad	N° predios	Superficie (ha)	P2O5 (ton/año)	N (ton/año)
Villarrica	18	216	48.49	1.02
Pucón	16	80	15.89	0.64
TOTAL	34	296	64.38	1.67

Para el caso de Villarrica (Tabla 31) el año 2016 es el que presenta mayor superficie con aplicación de fertilizantes fosfatados y 2017 para el caso de los nitrogenados. En Pucón la mayor fertilización de base fosfatada se dio en 2013 y para el caso de los nitrogenados en 2013 y 2016. La cuenca del Lago Villarrica ha tenido en el periodo de 5 años (2013-2017) una aplicación relativa de 64.38 ton/año de fertilizantes fosfatados y 1.67 ton/año de nitrogenados provenientes de las comunas de Villarrica y Pucón. La cantidad aplicada de fertilizantes fosfatados es mucho mayor que la de base nitrogenada, esto se debe a que los suelos volcánicos en el sur de Chile, tienen una alta capacidad de absorber el Fósforo (ODEPA, 2010), y sólo el 10% del Fósforo aplicado mediante fertilizantes fosfatados solubles es absorbido por las plantas (Besoain, E. y Sadzawka, 1999). Se asume para el caso de este estudio que los fertilizantes fosfatados solubles son los más utilizados.

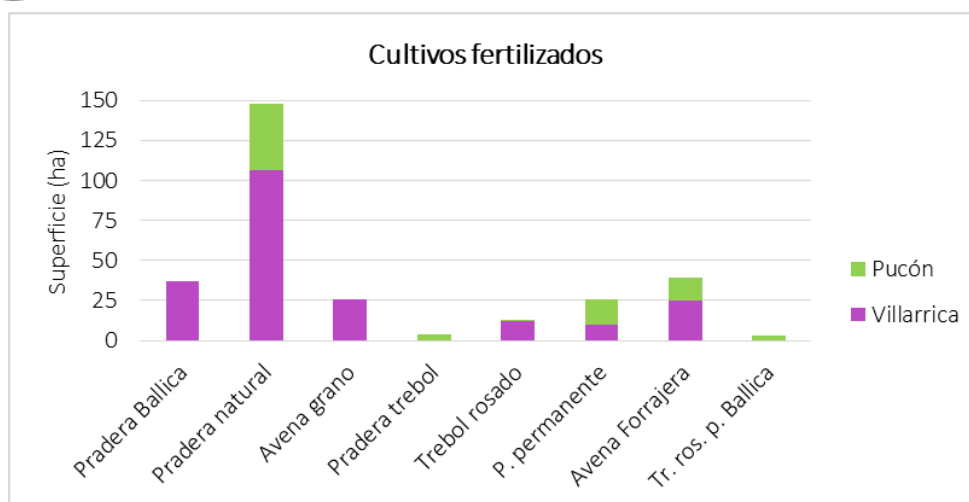


Figura 22: Cultivos fertilizados en las comunas de Villarrica-Pucón. (NOTA: pradera permanente (p. permanente) y trébol rosado con pradera Ballica (Tr. Ros. p. Ballica)).

De los datos facilitados por el programa PDTI-Municipalidad de Curarrehue (Tabla 32), el 2015 representó el año con más aplicación de fertilizantes con un total de 79 ha fertilizadas. En este caso, la cuenca del Lago Villarrica ha tenido en el periodo de 5 años (2013-2017) una aplicación relativa de 59.74 ton/año de fertilizantes fosfatados y 20.60 ton/año de nitrogenados que tienen su origen en predios de la comuna de Curarrehue.

Tabla 31. Desglose de aplicaciones de fertilizantes de base fosforada (P2O5) y nitrogenada (N) en Villarrica y Pucón, Programa SIRSD-SAG.

Localidad	Villarrica			Pucón		
	Años	Superficie (ha)	P2O5 (ton/año)	N (ton/año)	Superficie (ha)	P2O5 (ton/año)
2013	38	10.66	0	50	8.16	0.32
2014	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
2015	50	8.42	0.38	5	1.60	S/I
2016	69	16.00	S/I	11	1.65	0.32
2017	59	13.41	0.65	14	4.48	S/I
TOTAL	216	48.49	1.02	80	15.89	0.64

NOTA: S/I (sin información).



Tabla 32. Desglose del aporte por aplicaciones de fertilizantes de base fosforada (P2O5) y nitrogenada (N) en Curarrehue, Programa SIRSD.

Localidad	Curarrehue		
	Años	Superficie (ha)	P2O5 (ton/año)
2013	S/I	S/I	S/I
2014	62	17.98	6.20
2015	79	22.91	7.90
2016	13	3.77	1.30
2017	52	15.08	5.20
TOTAL	206	59.74	20.60

NOTA: S/I (sin información).

De los datos facilitados por el INDAP sobre la incorporación de fertilizantes fosforados en los planes de manejo de las comunas Villarrica, Pucón y Curarrehue (Tabla 33), se observa que las aplicaciones de fertilizantes provenientes de Pucón son las mayores, por delante de las de Villarrica y Curarrehue. En este orden equivalen a 38.03 ton/año, 14.74 ton/año y 11.67 ton/año, siendo el año 2018 el que presentó más aplicación de fertilizantes. En este caso, la cuenca del Lago Villarrica ha tenido en el periodo de 5 años (2014-2018) una aplicación relativa de 64.43 ton/año de fertilizantes fosfatados.

Tabla 33. Desglose de aplicaciones de fertilizantes de base fosforada (P2O5) en la cuenca del Lago Villarrica, Programa SIRSD-INDAP (2019).

COMUNA	Aplicación de Fósforo (ton P2O5/año)					TOTAL
	2014	2015	2016	2017	2018	
CURARREHUE	10.05	1.62	S/I	S/I	S/I	11.67
PUCON	1.36	0.48	10.44	S/I	25.75	38.03
VILLARRICA	5.27	0.30	7.85	S/I	1.31	14.74
TOTAL	16.68	2.40	18.29	S/I	27.06	64.43

NOTA: S/I (sin información).

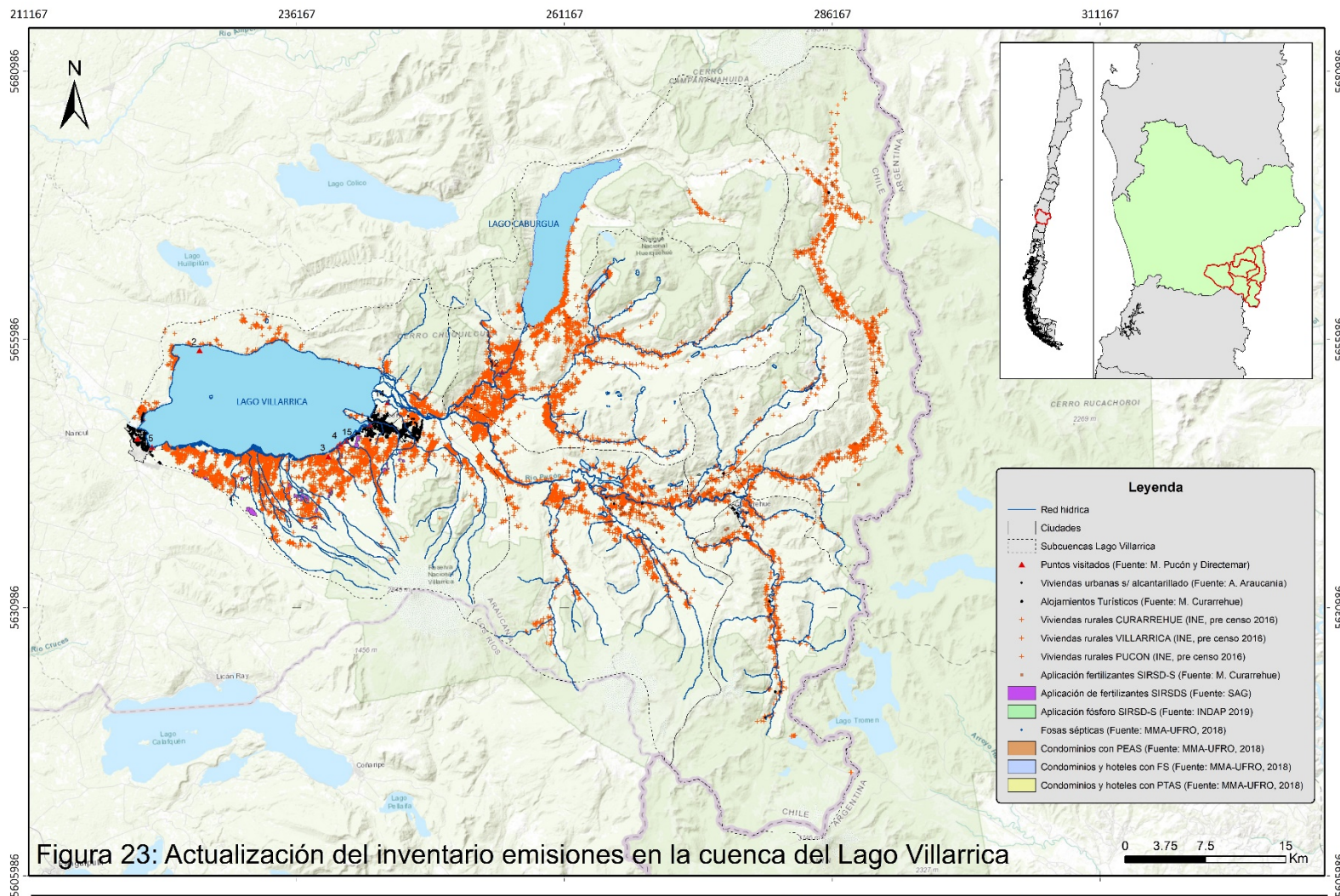


Figura 23.
 Nuevos
 aportes
 levantados
 en la cuenca
 del Lago
 Villarrica.

Nuevos aportes Mesa Técnica

Proyección Cartográfica
 Universal Transversal Mercator UTM
 Proyección Geodésica
 Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por: UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
 Centro de Gestión y
 Tecnologías del Agua

Mandante:

Escala: **1:300,000**

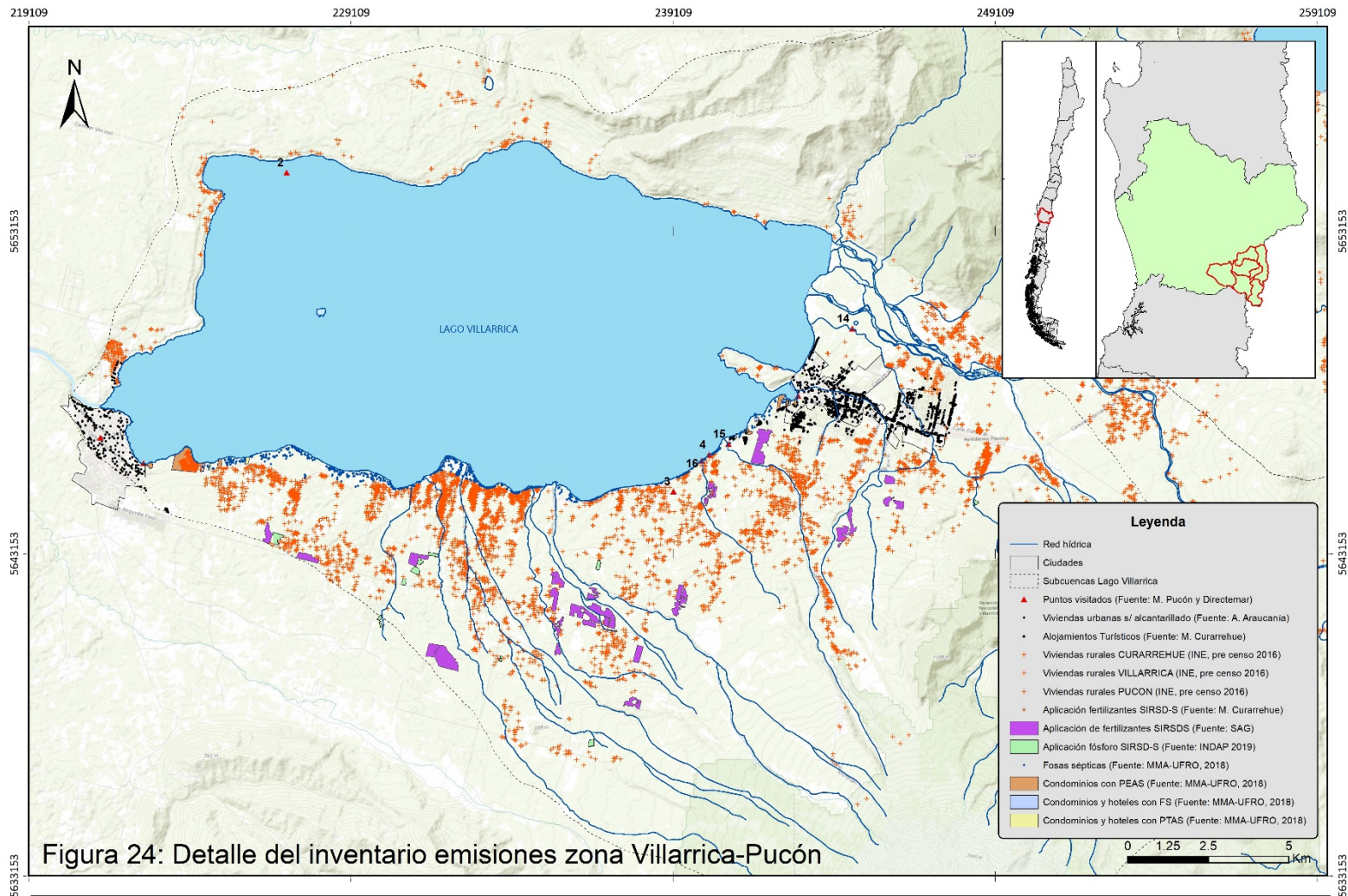


Figura 24: Detalle del inventario emisiones zona Villarrica-Pucón

Nuevos aportes Mesa Técnica

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por:



Mandante:



Escala: 1:100,000

Figura 24.
Detalle de nuevos
aportes
levantados
en la cuenca
del Lago
Villarrica.



Un resumen del aporte general proveniente desde las fuentes difusas y puntuales antes mencionadas puede observarse en la Tabla 34 y Tabla 35. En líneas generales, los aportes de las fuentes difusas son mayores que los provenientes desde fuentes puntuales. Entre las fuentes difusas destacan por su cantidad los aportes provenientes emisiones de las viviendas rurales sin conexión a alcantarillado con 48.5% de Fósforo Total y 55.1% de Nitrógeno Total. En segundo lugar, serían significativas las emisiones desde las fosas, hoteles y condominios del bordelago (ribera sur) que representan el 39.9% de los aportes de Fósforo Total y el 34% de Nitrógeno Total.

Con respecto a los aportes de las fuentes puntuales, los mayores aportes de Fósforo Total provienen del colector O'Higgins, Puente Candelaria y el sector Carmelito representando el 41.8%, 26.6% y 17.6% respectivamente. En relación a los aportes de Nitrógeno, el sector Carmelito representa el 29.4% del Nitrógeno Total que llega al Lago y la costanera Villarrica aportaría en segundo lugar con un 28.9% del Nitrógeno Total.

Tabla 34. Desglose de aportes desde fuentes difusas en la cuenca del Lago Villarrica.

Nuevas Fuentes Difusas	Fuente información	PT (ton/año)	PT (%)	NT (ton/año)	NT (%)
Viviendas s/ alcantarillado (Villarrica y Pucón)	Mesa Técnica (Aguas Araucanía)	5.20	8.4%	33.80	9.5%
Viviendas rurales s/ alcantarillado (Villarrica, Pucón y Curarrehue)	INE (pre censo 2016)	30.03	48.5%	195.19	55.1%
Fosas, hoteles y condominios bordelago (ribera sur)	MMA-UFRO (2018, Tabla 23, ley de Fick con base 100 años)	24.72	39.9%	120.61	34.0%
Termas (Pucón) (*)	Mesa Técnica (M. Pucón)	1.97	3.2%	4.88	1.4%
Alojamientos turísticos (Curarrehue)	Mesa Técnica (M. Curarrehue)	S/I	-	S/I	-
Aplicación fertilizantes predios agrícolas	Mesa Técnica (SAG, INDAP y Municipalidad Curarrehue)	S/I	-	S/I	-
TOTAL		61.92	100%	354.48	100%

NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total. S/I sin información suficiente.



Tabla 35. Desglose de aportes desde fuentes puntuales en la cuenca del Lago Villarrica.

Nuevas Fuentes Puntuales	Fuente información	PT (ton/año)	PT (%)	NT (ton/año)	NT (%)
Colector O'Higgins (*)	Mesa Técnica	2.48	41.8%	5.66	10.1%
Puente Carmelito (*)	(Municipalidad	0.05	0.8%	0.01	0.02%
Puente Candelaria (*)	Pucón)	1.58	26.6%	1.91	3.4%
Frente PUCV		0.03	0.5%	1.77	3.1%
Castillo, Zona norte		0.31	5.2%	8.70	15.5%
Sector Carmelito	Mesa Técnica	1.05	17.6%	16.52	29.4%
Estero Carmelito	(Directemar)	0.29	4.8%	5.42	9.6%
Costanera Villarrica		0.16	2.7%	16.24	28.9%
TOTAL		5.94	100%	56.24	100%

NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total. S/I sin información suficiente.

6.2 Modelo de transporte de nutrientes en cauces aportantes (WASP)

Un aspecto importante a considerar en los cálculos de emisiones y transporte de nutrientes es la calidad de la información disponible para ello.

Uno de los dos casos importantes corresponde a la información declarada por las pisciculturas respecto de sus emisiones de Nitrógeno y Fósforo, los cuales presentan ciertas particularidades respecto a los límites de detección de los métodos analíticos utilizados para la generación de sus reportes, la Tabla 36 muestra un resumen de la cantidad de información disponible respecto a los parámetros reportadas, la cantidad de reportes registrados para el año base de este estudio (2017) y el número de datos que se encuentran bajo el límite de detección del método analítico.

Dada esta situación, en conjunto con el mandante del presente estudio (MMA) se estableció el siguiente criterio de cálculo.

Escenario 1: todos los datos reportados bajo el límite de detección serán considerados como un “0”, en otras palabras, estos valores fueron completamente excluidos del cálculo, asumiendo que las plantas al reportar el límite, literalmente emitían cero (0) carga de nitrógeno o fósforo.

Escenario 2: todos los datos reportados bajo el límite de detección serán considerados en un 50% del valor del límite de detección reportado.

El segundo caso corresponde a la comuna de Curarrehue. En el presente estudio no fue posible realizar un muestreo acabado de los siete emisarios de la comuna, los cuales descargan de forma directa al Río Trancura, por lo cual, para la obtención de información, se realizó un cálculo de las diferencias de carga de Nitrógeno y Fósforo del Río Trancura aguas arriba de la comuna (Punto B-12) y aguas abajo (Punto M-6). Este método presenta la dificultad de que al ser un muestreo del tipo puntual y no del tipo compuesto, depende mucho de lo que particularmente esté ocurriendo en el Río al momento de la toma de la muestra y de la hora a la cual sea tomada. Esto llevó a evidenciar ciertas anomalías en las muestras (ver Tabla 7), por ejemplo, las concentraciones de las variables de Nitrógeno y Fósforo son mayores en B-12 que en M-6, lo cual no es consistente dado la existencia de estos emisarios. Por otro lado, los resultados de las muestras fueron discutidas con el laboratorio que realizó las analíticas, se llegó a la conclusión de que no era posible descartar las muestras por cumplir con los protocolos de muestreo y de la analítica. De esta manera para el caso de Curarrehue se optó por considerar una emisión equivalente a una población de 2816 personas (2067 permanente más 749 turistas), población estimada según el Censo del año 2017 y datos reportados por MMA para este caso en particular. Para la estimación de emisiones se utilizó información según DS.90, el cual plantea una carga de Fósforo por Habitante de 1.6 g/día y una carga de Nitrógeno por Habitante de 8 g/día. Con esta información se realizaron los cálculos de emisiones de Curarrehue.

El resumen, de los resultados del cálculo de transporte de nutrientes modelados con el software EPA-WASP8 para cada uno de los esteros y ríos considerados en este estudio se presenta en la Tabla 37 y Tabla 38 para el Escenario 1 (Valores $<LD=0$) y la Tabla 39 y Tabla 40 para el Escenario 2 (Valores $<LD=50\%$).

Respecto de Fósforo Total, en el Escenario 1, al Lago Villarrica llegarían, desde los principales cauces tributarios, 246.38 ton/año y en el Escenario 2 llegarían unas 263.45 ton/día lo que significaría un aumento de un 6.9% desde el escenario 1 al 2.

Respecto de Nitrógeno Total, en el Escenario 1, al Lago Villarrica llegarían, desde los principales cauces tributarios, 1426.27 ton/año y en el Escenario 2 llegarían unas 1464.67 ton/día lo que significaría un aumento de un 2.7% desde el escenario 1 al 2.

Considerando ambos escenarios de modelación, las fuentes puntuales tendrían una participación de entre el 14.3–16.5% del Fósforo Total aportado al Lago Villarrica y las fuentes difusas entre un 83.5–85.7% aproximadamente. Respecto del Nitrógeno Total, las fuentes puntuales tendrían una participación del 35.1–36.2% y las fuentes difusas entre un 63.8–64.9% aproximadamente.

Las Figura 26 y Figura 27 presentan la distribución de participación en el aporte de Fósforo y Nitrógeno total para fuentes puntuales y difusas en cada uno de los ríos y esteros estudiados, en ella es posible apreciar que para el caso del Fósforo Total (Figura 26a y Figura 27a), la participación de fuentes puntuales y difusas se encontraría repartida: en M1 (Estero Molco) y M2 (Estero Loncotraro) las fuentes puntuales mostrarían una participación mayor, mientras que en M3 (Estero Correntoso) y M5 (Río Trancura) los correspondería a fuentes difusas, respecto de M4 Entre el Escenario 1 y 2 existe una diferencia siendo en el Escenario 1 una participación compartida entre ambos tipos de fuente, y en el Escenario 2 las fuentes puntuales tendrían un mayor aporte.

En el caso del Nitrógeno Total (Figura 26b y Figura 27b), las fuentes puntuales mostrarían una mayor participación para el caso de M1, M2 y M4 y las fuentes difusas para el caso de M3 y M5.

Respecto de los modelos, es importante destacar que no fue posible obtener un mejor ajuste del Nitrógeno para el Estero Loncotraro (M2), esto para ambos escenarios. Las razones pueden deberse a inconsistencias en los datos utilizados para las estimaciones del Nitrógeno, ya que para el caso del Fósforo el modelo si muestra resultados aceptables para ambos escenarios.

Respecto al ajuste de los modelos de transporte desarrollados, la Tabla 37, Tabla 38, Tabla 39 y Tabla 40 presentan los valores de la función Raíz del Error Cuadrático Medio (U), donde 0 es la máxima igualdad y 1 la máxima desigualdad entre los valores observados en los muestreos y los valores modelados para la misma fecha y lugar. De ello es posible notar que los modelos presentan un desempeño aceptable, salvo para el Estero Loncotraro, tal como se ha explicado previamente. La Figura 25 presenta un resumen de la distribución de errores donde es posible observar el desajuste del

Nitrógeno en M2. En este caso particular se espera contar con mayor información de las fuentes de emisión que permitan solucionar el problema.

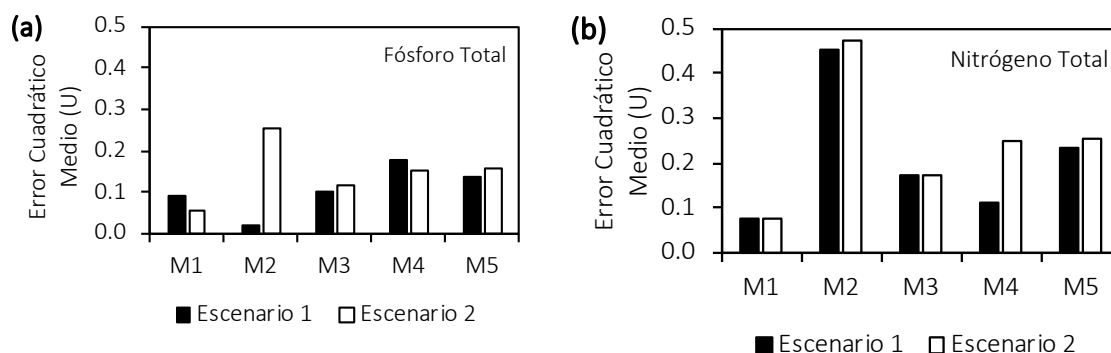


Figura 25. Distribución del error cuadrático medio (U) para los valores de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total, en los escenarios 1 y 2.

La Figura 28 presenta un resumen gráfico de la distribución de Nitrógeno y Fósforo total en cada uno de los ríos y esteros evaluados, en la cual es posible observar zonas de mayor carga, entre las cuales, el Río Trancura es el principal aportante hacia el Lago Villarica.

Tabla 36. Resumen de valores de Fósforo Total, Nitrógeno Total y Nitrógeno Total Kjeldahl reportados por las Pisciculturas y excluidos para la modelación con WASP en este estudio.

Nombre Piscicultura	Fósforo Total			Nitrógeno Total			Nitrógeno Total Kjeldahl		
	Valores Reportado	Valores excluidos	Límite detección mg/L	Valores reportados	Valores excluidos	Límite detección mg/L	Valores reportados	Valores excluidos	Límite detección
Chehuilco	24	23	< 0.2	24	0	<1	-	-	-
Molco	24	8	< 0.2	24	0	<1	-	-	-
Loncotraro	48	33	< 0.2 y < 0.6	48	10	<1	-	-	-
La Cascada	20	9	< 0.2	20	0	<1	-	-	-
Los Chilcos	68	35	< 0.2	68	0	<1	-	-	-
Loncotraro	33	29	< 0.2 y < 0.6	33	9	<1	-	-	-
Quimeyco	44	42	<0.6	44	19	<1	-	-	-
Caburgua I	10	6	< 0.2	-	-	-	10	0	<1
Ojos del Caburgua	6	2	< 0.2	-	-	-	6	0	<1
Carileufu	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quetroleufu	44	30	< 0.2	-	-	-	44	0	<1
Caburgua II	44	22	< 0.2	-	-	-	44	0	<1
Rinconada	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Curarrehue	44	20	< 0.2	-	-	-	44	0	<1
Catripulli	44	21	< 0.2	-	-	-	44	0	<1

Escenario 1: Valores $LD=0$

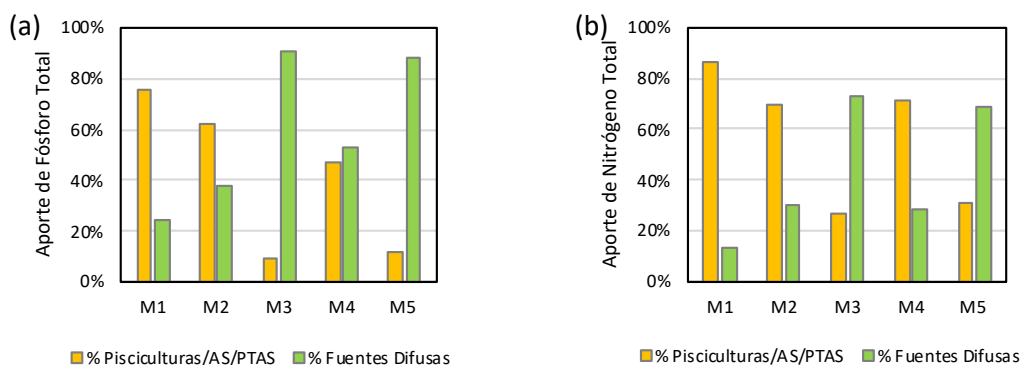


Figura 26. (Escenario 1) Responsabilidad en el aporte de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total desde Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas por cada uno de los ríos y esteros estudiados.

Tabla 37. (Escenario 1) Estimación de la carga de Fósforo Total anual desde esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica.

	Nombre del estero	Error del Modelo, U_p	TOTAL, río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS	% Pisciculturas/AS/PTAS	Fuentes Difusas	% Fuentes Difusas
M1	Estero Molco	0.091	5.23	3.95	75.5%	1.28	24.5%
M2	Estero Loncostraró	0.019	4.22	2.62	62.1%	1.60	37.9%
M3	Estero Correntoso	0.102	1.88	0.17	9.0%	1.71	91.0%
M4	Estero Los Chilcos	0.177	3.15	1.59	50.5%	1.56	49.5%
M5	Río Trancura (Pucón) T.118+T.112	0.135	232.25	27.25	11.7%	205.00	88.3%
TOTAL (ton/año)			246.73	35.58	14.4%	211.15	85.6%

Tabla 38. (Escenario 1) Estimación de la carga de Nitrógeno Total anual desde esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica.

	Nombre del estero	Error del Modelo, U_N	TOTAL, río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS	% Pisciculturas/AS/PTAS	Fuentes Difusas	% Fuentes Difusas
M1	Estero Molco	0.076	54.77	47.30	86.4%	7.47	13.6%
M2	Estero Loncostraró	0.467	40.74	28.45	69.8%	12.29	30.2%
M3	Estero Correntoso	0.174	11.53	3.08	26.7%	8.45	73.3%
M4	Estero Los Chilcos	0.112	25.32	21.66	85.5%	3.66	14.5%
M5	Río Trancura (Pucón) T.118+T.112	0.232	1292.00	403.62	31.2%	888.38	68.8%
TOTAL (ton/año)			1424.36	504.11	35.4%	920.25	64.6%

Escenario 2: Valores $LD=50\%$

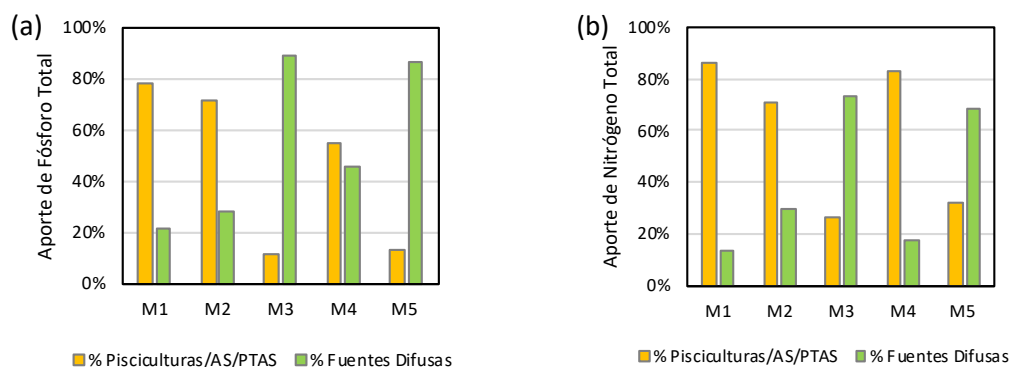


Figura 27. (Escenario 2) Responsabilidad en el aporte de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total desde Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas por cada uno de los ríos y esteros estudiados.

Tabla 39. (Escenario 2) Estimación de la carga de Fósforo Total anual desde esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica.

	Nombre del estero	Error del Modelo, U_P	TOTAL, río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS	% Pisciculturas/AS/PTAS	Fuentes Difusas	% Fuentes Difusas
M1	Estero Molco	0.056	5.85	4.58	78.3%	1.27	21.7%
M2	Estero Loncostraró	0.254	5.60	4.00	71.4%	1.60	28.6%
M3	Estero Correntoso	0.116	1.88	0.21	11.2%	1.67	88.8%
M4	Estero Los Chilcos	0.152	3.38	1.84	54.4%	1.54	45.6%
M5	Río Trancura (Pucón) T.118+T.112	0.158	246.74	32.79	13.3%	213.95	86.7%
TOTAL (ton/año)			263.45	43.42	16.5%	220.03	83.5%

Tabla 40. (Escenario 2) Estimación de la carga de Nitrógeno Total anual desde esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica.

	Nombre del estero	Error del Modelo, U_N	TOTAL, río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS	% Pisciculturas/AS/PTAS	Fuentes Difusas	% Fuentes Difusas
M1	Estero Molco	0.076	54.77	47.30	86.4%	7.47	13.6%
M2	Estero Loncostraró	0.471	44.96	31.65	70.4%	13.31	29.6%
M3	Estero Correntoso	0.174	11.52	3.08	26.7%	8.44	73.3%
M4	Estero Los Chilcos	0.249	32.69	27.01	82.6%	5.68	17.4%
M5	Río Trancura (Pucón) T.118+T.112	0.254	1320.73	420.60	31.8%	900.13	68.2%
TOTAL (ton/año)			1464.67	529.64	36.2%	935.03	63.8%

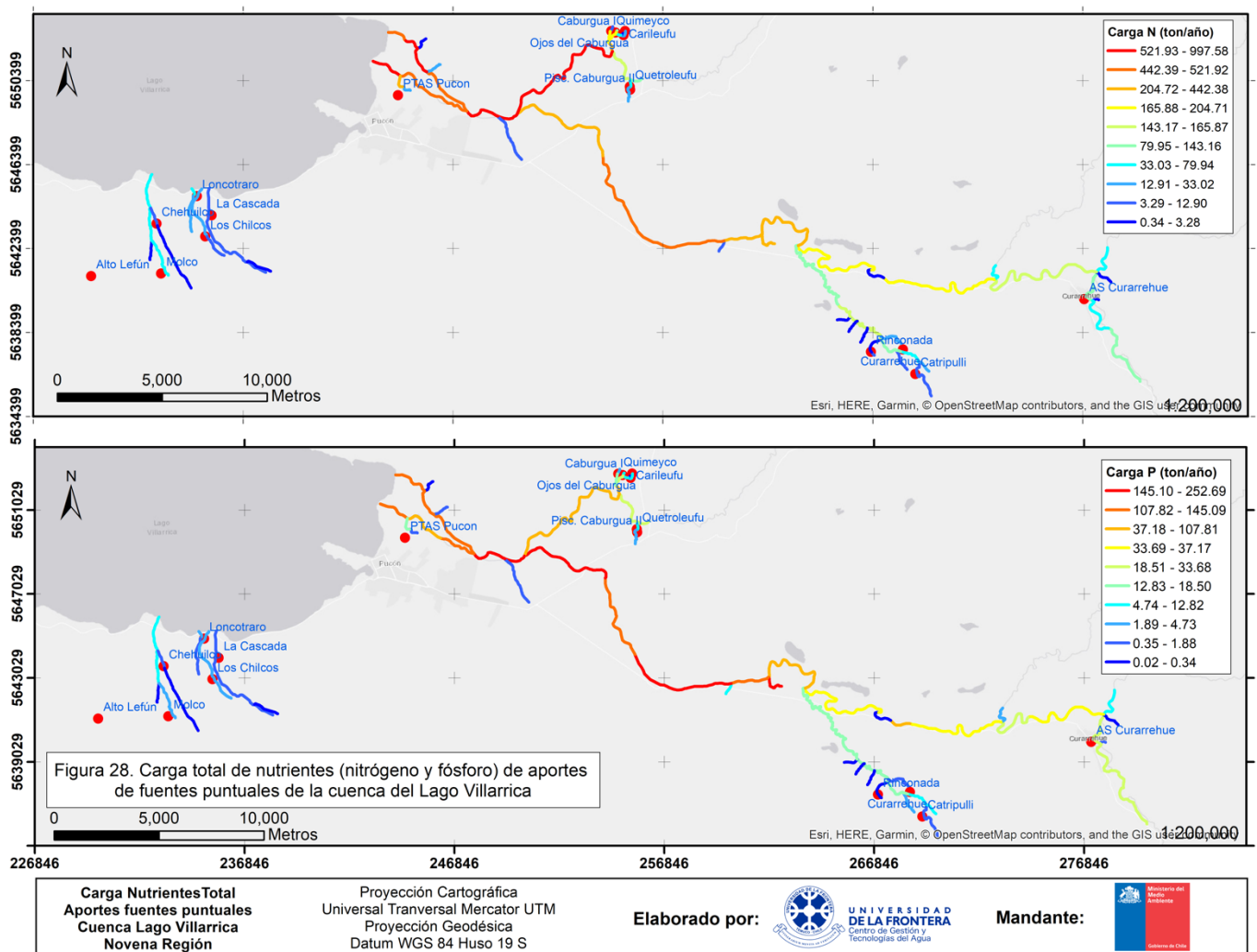


Figura 28. Resumen de cargas general en ton/año para todos los tramos de modelación considerados para el estudio.

A continuación, se presenta de forma detallada la validación de cada uno de los modelos de transporte desarrollados.

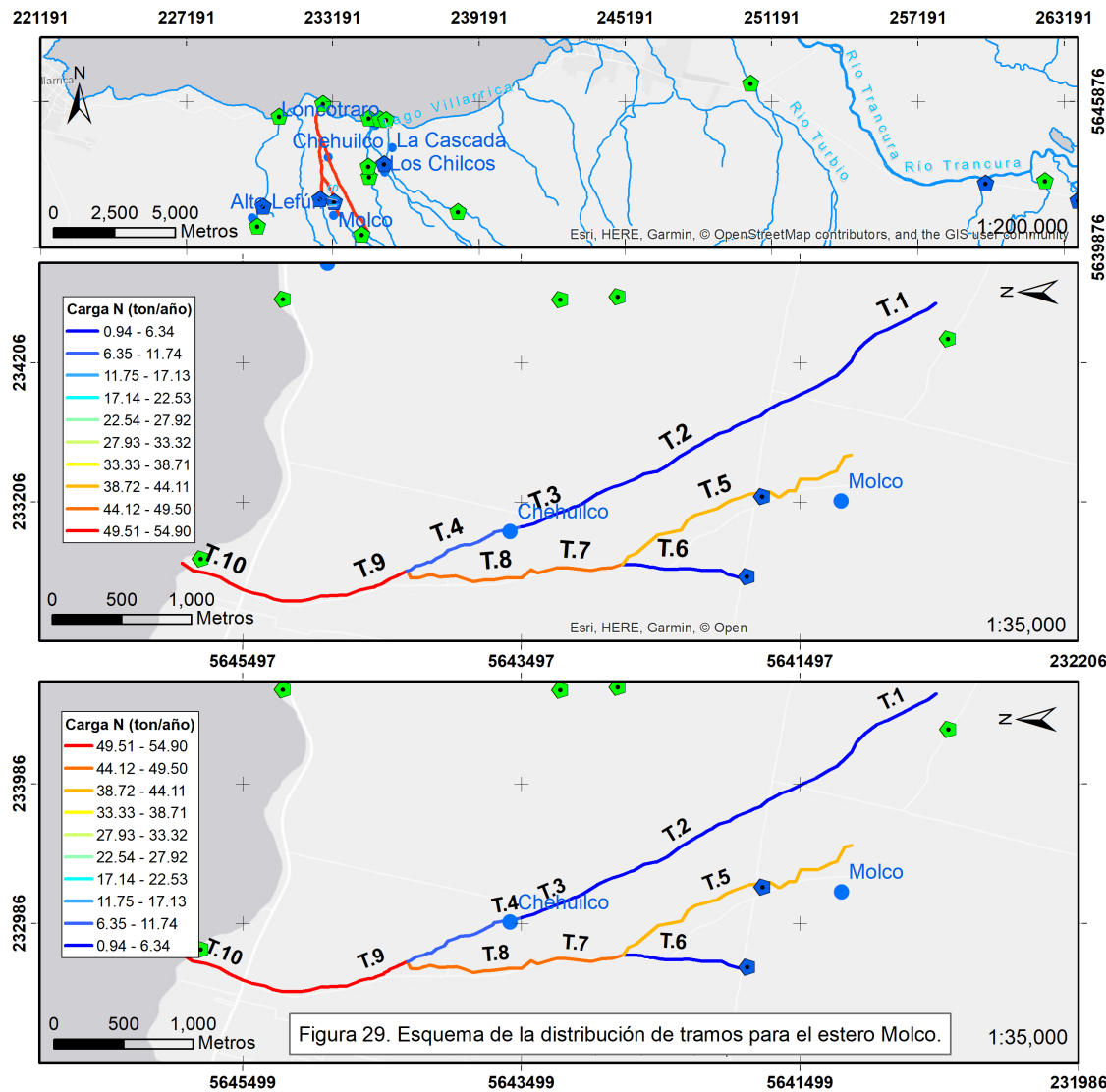
6.2.1 Estero Molco (M1)

El estero Molco presenta descargas provenientes de dos pisciculturas, Piscicultura Cheuilco ubicada en el estero Molco y Piscicultura Molco ubicada en el estero Cheuilco. La Figura 29 presenta un resumen esquemático de la ubicación de las Pisciculturas y la división de los tramos en los esteros además de la carga de nutrientes Fósforo y Nitrógeno Total calculados para el escenario 1. La Tabla 41 presenta la geometría utilizada para el desarrollo del modelo de transporte sobre el estero Molco, donde la salida al Lago corresponde al tramo 10 (T.10). La Piscicultura Cheuilco se encuentra ubicada en el tramo T.4 y la piscicultura Molco en el tramo T.5. La carga de las fuentes puntuales se determinó y utilizó según lo planteado en la metodología, sección 3.3.

La validación del modelo de transporte se observa en la Figura 30a-b para el Escenario 1 y en la Figura 31a-b para el Escenario 2. El Fósforo y Nitrógeno Total muestran un U_P y U_N de 0.091 y 0.076 para el Escenario 1 y 0.056 y 0.07 para el Escenario 2. Esto permitiría entender que la utilización del Escenario 2 permitiría una interpretación un poco más ajustada de lo que ocurre en el Estero Molco debido al mejor ajuste de U_P y U_N . La Figura 30c-d y Figura 31c-d presentan una comparativa del tramo de control (T.10) y los tramos con presencia de descargas de pisciculturas (T.4 y T.5), tanto para Fósforo como para Nitrógeno total, en las que se observa una relación de concentraciones entre los tramos T.10 y T.5. Esto último quedaría finalmente demostrado en la Figura 30e-f y Figura 31e-f, las cuales presentan un análisis comparativo del flujo másico entre el tramo de control T.10 y los tramos con descargas de pisciculturas (T.4 y T.5), donde el tramo T.5 muestra alta similitud con T.10, lo cual se confirma al correlacionar los flujos másicos de T.4 y T.5 con el control en T.10 (ver Figura 32 y Figura 33).

Tabla 41. Geometría utilizada para modelo de estero Molco.






Nombre del segmento	Largo (m)	Ancho (m)	Área Superficial (m ²)	Profundidad promedio (m)	Volumen (m ³)	Tiempo Residencia (día)	Velocidad (m/día)	Pendiente (m/m)
T.1 Est. Molco	1567.92	3.20	5017.34	0.30	1505.20	0.03	0.67	0.0382670
T.2 Est. Molco	1260.60	3.35	4223.01	0.81	3420.64	0.06	0.24	0.0317308
T.3 Est. Molco	601.82	3.43	2061.23	1.07	2195.21	0.04	0.18	0.0332324
T.4 Est. Molco	905.73	3.46	3136.09	1.19	3739.79	0.07	0.15	0.0220816
T.5 Est. Cheuilco	1952.55	7.00	13667.85	0.35	4783.75	0.02	1.02	0.0256075
T.6 Est. sin nombre	925.95	0.90	833.36	0.25	208.34	0.01	1.60	0.0215993
T.7 Est. Cheuilco	766.63	7.00	5366.39	0.35	1878.24	0.01	1.02	0.0261007
T.8 Est. Cheuilco	863.09	7.00	6041.62	0.35	2114.57	0.01	1.02	0.0231837
T.9 Est. Molco	818.12	3.35	2740.72	0.81	2219.98	0.04	0.24	0.0244578
T.10 Est. Molco	901.31	3.50	3154.59	1.32	4164,05	0.08	0.14	0,0443799



**M.1 Estero Molco
Carga Anual de Nutrientes
Ribera Lago Villarrica
Novena Región**

Leyenda


Aforos

-  Calidad
-  Aforos
-  Pisciculturas y PTAS
-  M.1 Estero Molco
-  Red hídrica

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

Mandante:




Figura 29. Esquema de la distribución de tramos para el estero Molco.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

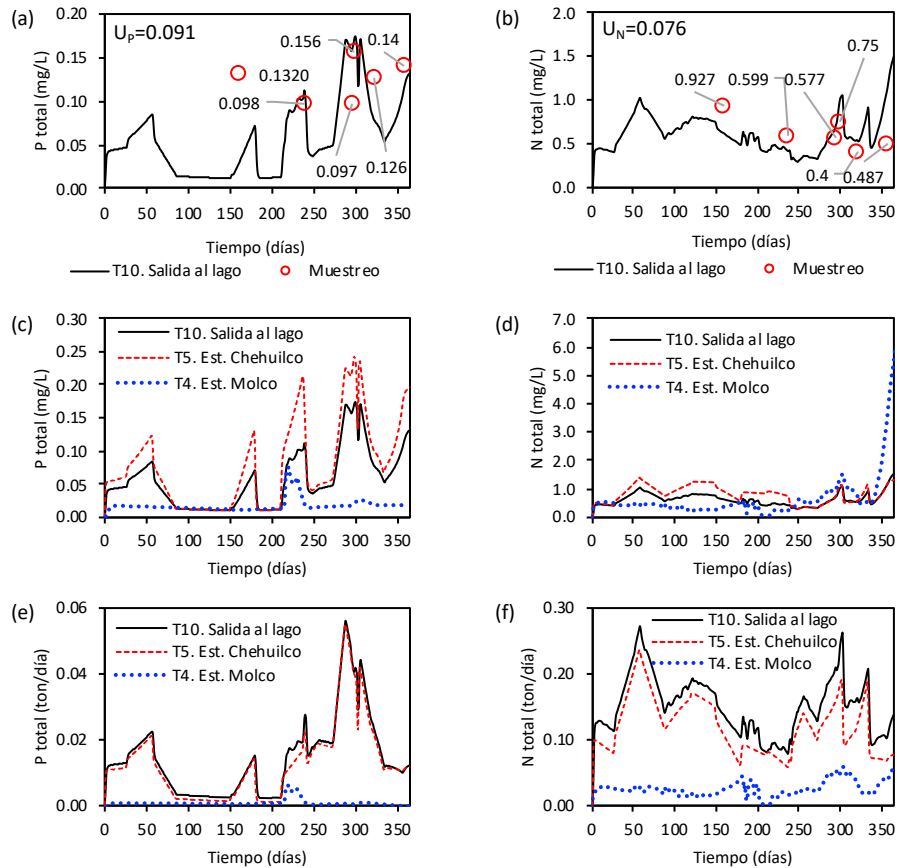


Figura 30. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Molco: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.10 (salida al lago), T.5 (Estero Chehuilco) y tramo T.4 (estero Molco). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.10, T.5 y T.4 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

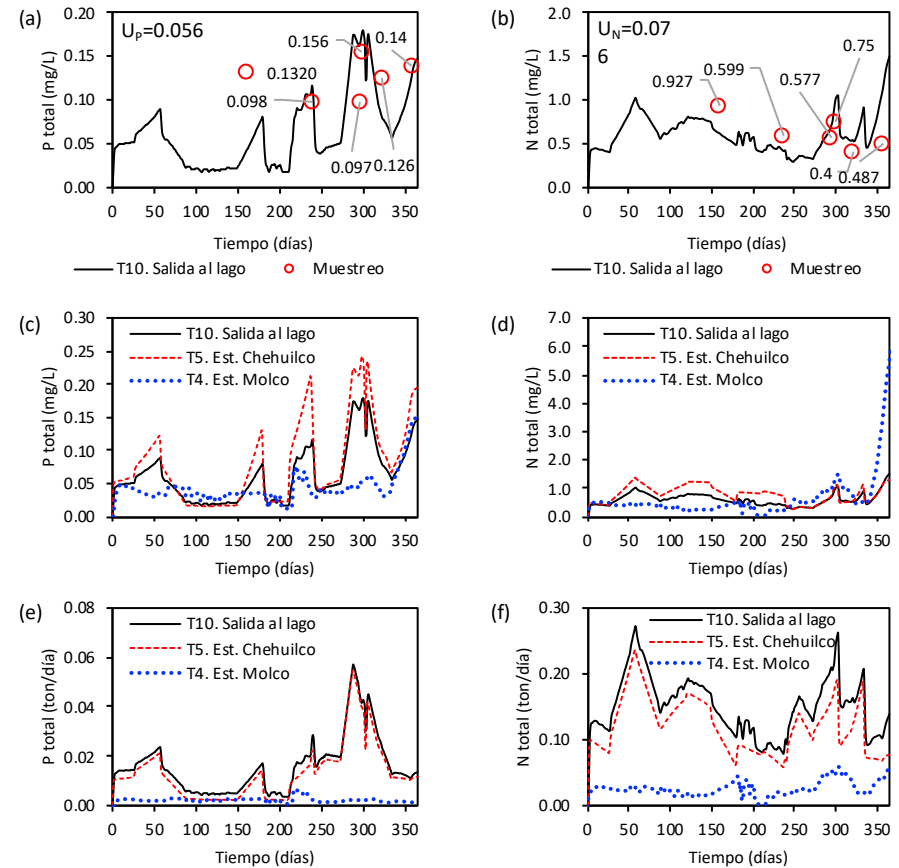
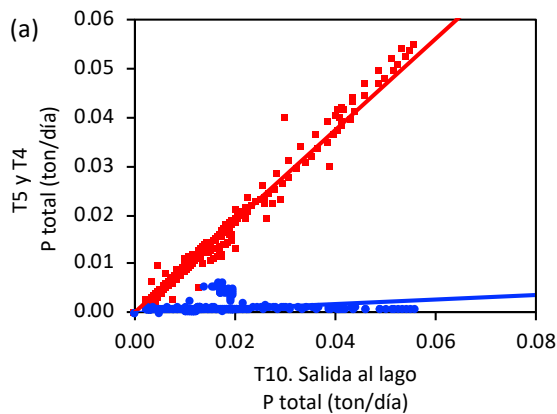
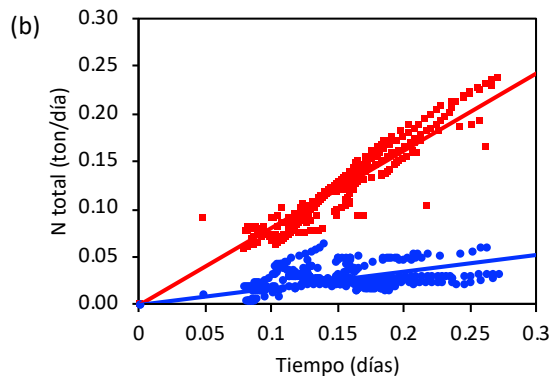


Figura 31. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Molco: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.10 (salida al lago), T.5 (Estero Chehuilco) y tramo T.4 (estero Molco). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.10, T.5 y T.4 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

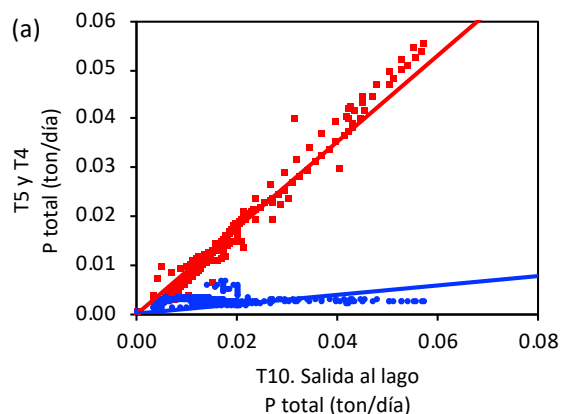


■ T5. Est. Chehuilco $r=0.992$
● T4. Est. Molco $r=0.092$

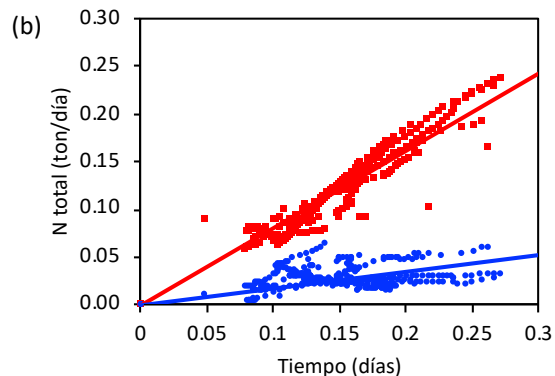


■ T5. Est. Chehuilco $r=0.954$
● T4. Est. Molco $r=0.281$

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>



■ T5. Est. Chehuilco $r=0.991$
● T4. Est. Molco $r=0.085$



■ T5. Est. Chehuilco $r=0.954$
● T4. Est. Molco $r=0.281$

Figura 32. Escenario 1 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.10) y los tramos con descargas de fuentes puntuales (T.4 y T.5): (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 33. Escenario 2 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.10) y los tramos con descargas de fuentes puntuales (T.4 y T.5): (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

6.2.2 Estero Loncostrarro (M2)

El estero Loncostrarro presenta descargas provenientes de la Piscicultura Loncostrarro. La Figura 34 presenta un resumen esquemático de la ubicación de la Piscicultura y la división de los tramos en el estero. La Tabla 42 presenta la geometría utilizada para el desarrollo del modelo de transporte sobre el estero Loncostrarro, donde la salida al Lago corresponde al tramo 4 (T.4). La Piscicultura Loncostrarro se encuentra ubicada en el tramo T.3. La carga de la fuente puntual se determinó y utilizó según lo planteado en la metodología, sección 3.3.

La validación del modelo de transporte se presenta en la Figura 35a-b y Figura 36a-b para Fósforo y Nitrógeno Total con un U_P y U_N de 0,02 y 0,467 para el Escenarios 1 y un U_P y U_N de 0,254 y 0,471 para el Escenario 2 respectivamente. En este caso, el modelo no logró interpretar de buena manera el Nitrógeno Total y al contrario, logró interpretar bien el Fósforo Total, esto puede deberse a problemas en la información proporcionada al modelo, toda la información utilizada proviene de datos levantados en terreno y de datos reportados por las mismas pisciculturas. Por Otro lado los ordenes de magnitud de modelo se encuentran dentro de los valores levantados en terreno (Muestreo) pero el ajuste es deficiente en comparación a lo logrado con el Fósforo Total. Ser requiere mas información respecto a M2 y a todos los factores que pueden estar influyendo en la sobre estimación de la carga de Nitrógeno en el Estero.

La Figura 35c-d y Figura 36c-d presentan una comparativa del tramo de control (T.4) y el tramo T.3 el cual contiene la descarga de la piscicultura Loncostrarro, y la Figura 35e-f y Figura 36e-f, presentan un análisis comparativo también entre los tramos T.4 y T.3, es posible notar que el flujo másico de Nitrógeno y Fósforo total es prácticamente el mismo entre ambos tramos, esto puede deberse a que son 2 tramos próximos y las distancias entre cada uno es de sólo unos cientos de metros. La correlación entre los tramos T.4 y T.3 se muestra en la Figura 37 y Figura 38.

Tabla 42. Geometría utilizada para modelo de estero Loncostrarro.

Nombre del segmento	Largo (m)	Ancho (m)	Área Superficial (m ²)	Profundidad promedio (m)	Volumen (m ³)	Tiempo Residencia (día)	Velocidad (m/día)	Pendiente (m/m)
T.1 Est. Loncostrarro	1025.83	5.00	5129.15	0.40	2051.66	0.02	0.72	0.0292308
T.2 Est. Loncostrarro	883.22	3.45	3047.11	0.51	1554.03	0.01	0.82	0.0389401
T.3 Est. Loncostrarro	113.16	1.9	215.00	0.62	133.30	0.001	1.22	0.0883258
T.4 Est. Loncostrarro	296.83	1.90	563.98	0.62	349.67	0.003	1.22	0.0673474

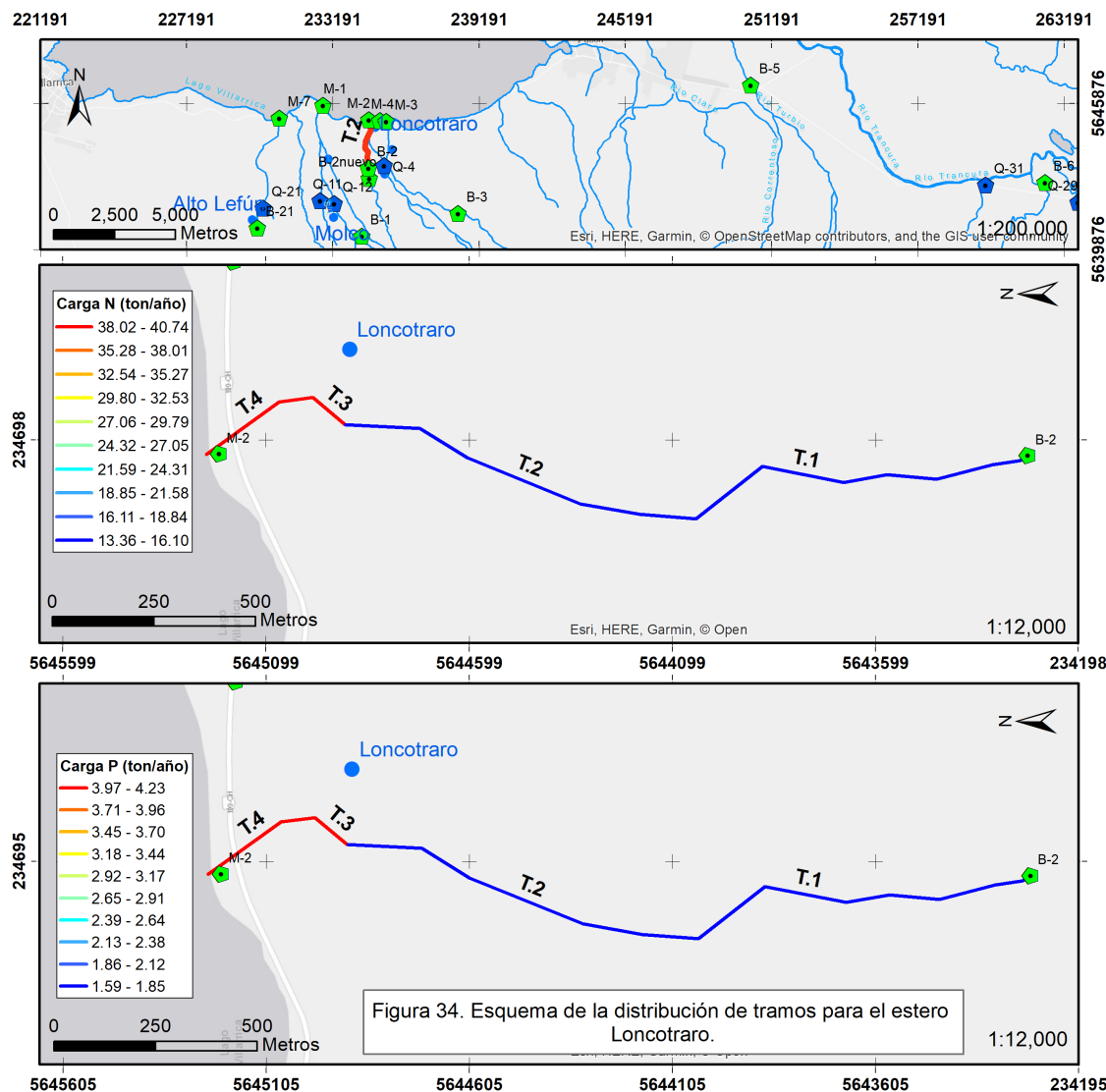


Figura 34. Esquema de la distribución de tramos para el estero Loncoctraro.

**M.2 Estero Loncoctraro
 Carga Anual de Nutrientes
 Ribera Lago Villarica
 Novena Región**


Leyenda

- ◆ Calidad
- ◆ Aforos
- M.2 Estero Loncoctraro
- Pisciculturas y PTAS
- Red hídrica

Proyección Cartográfica
 Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
 Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
 Centro de Gestión y
 Tecnologías del Agua

Mandante:




Figura 34. Esquema de la distribución de tramos para el estero Loncoctraro.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

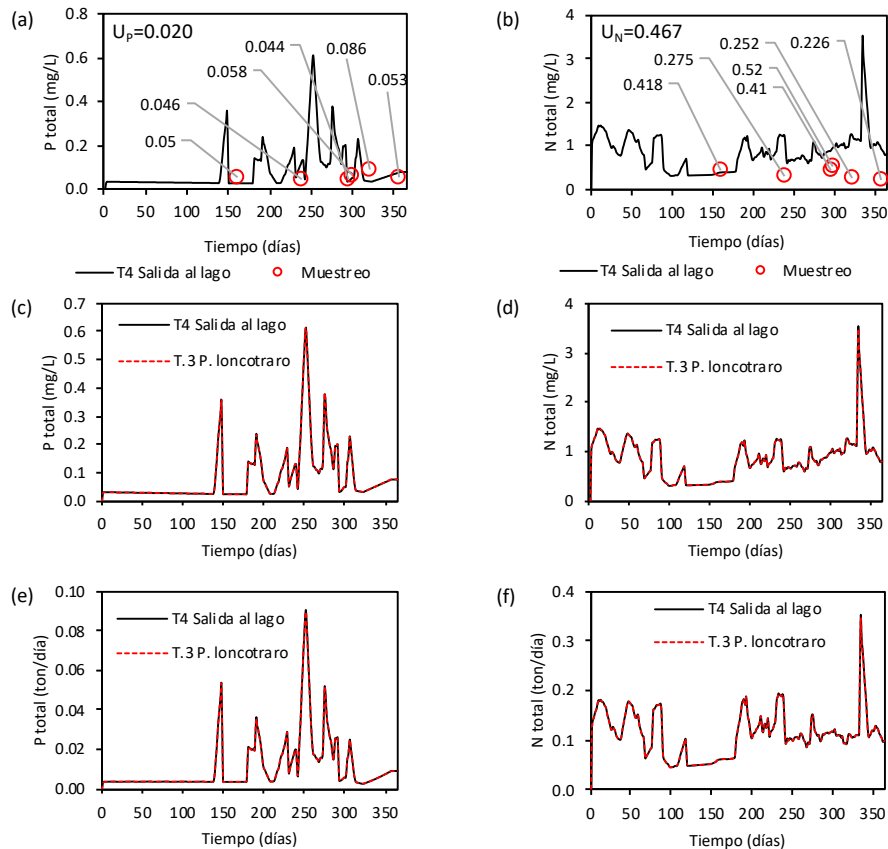


Figura 35. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Loncotraro: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.4 (salida al lago) y T.3 (Estero Loncotraro). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.4 y T.3 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

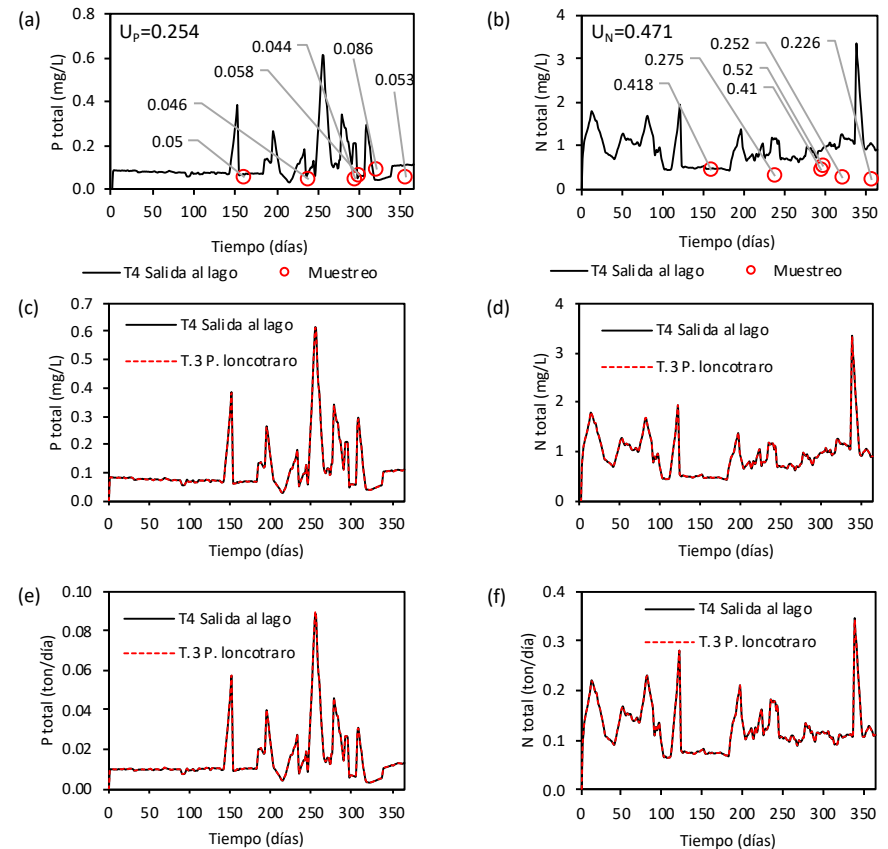
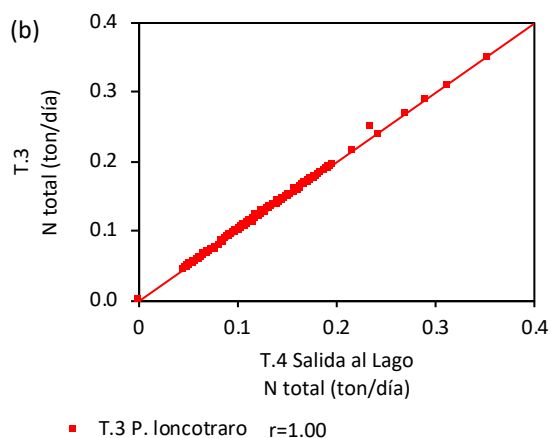
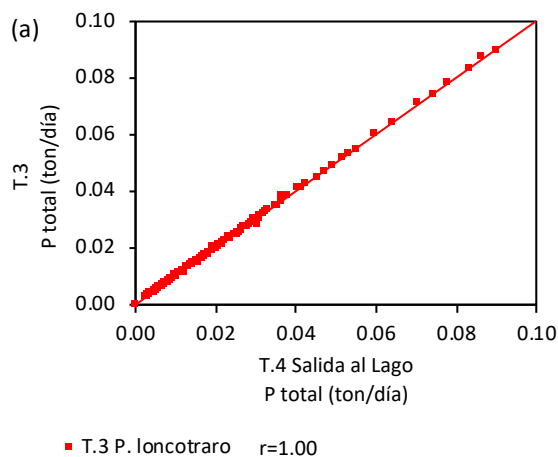


Figura 36. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Loncotraro: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.4 (salida al lago) y T.3 (Estero Loncotraro). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.4 y T.3 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>



ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

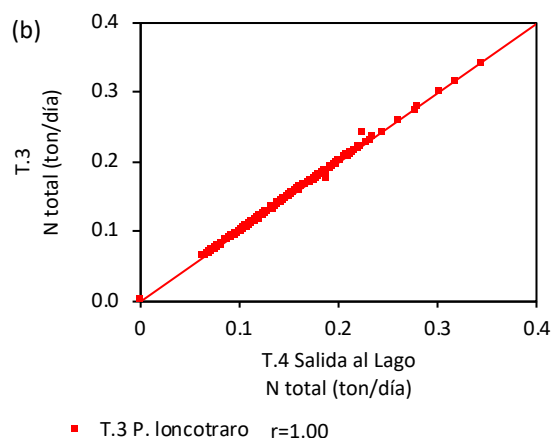
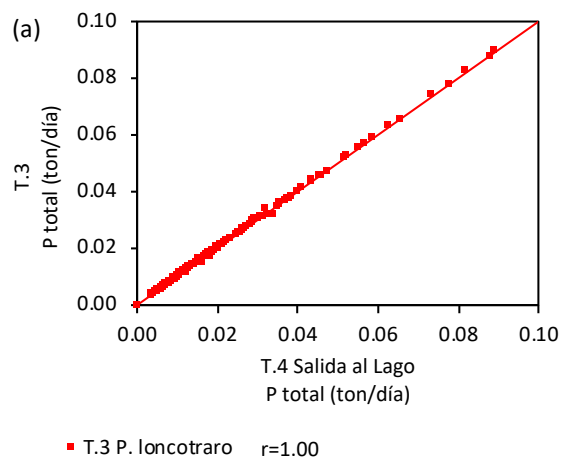


Figura 37. Escenario 1 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.3) y el tramo con descarga T.2: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 38. Escenario 2 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.3) y el tramo con descarga T.2: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

6.2.3 Estero Correntoso (M3)

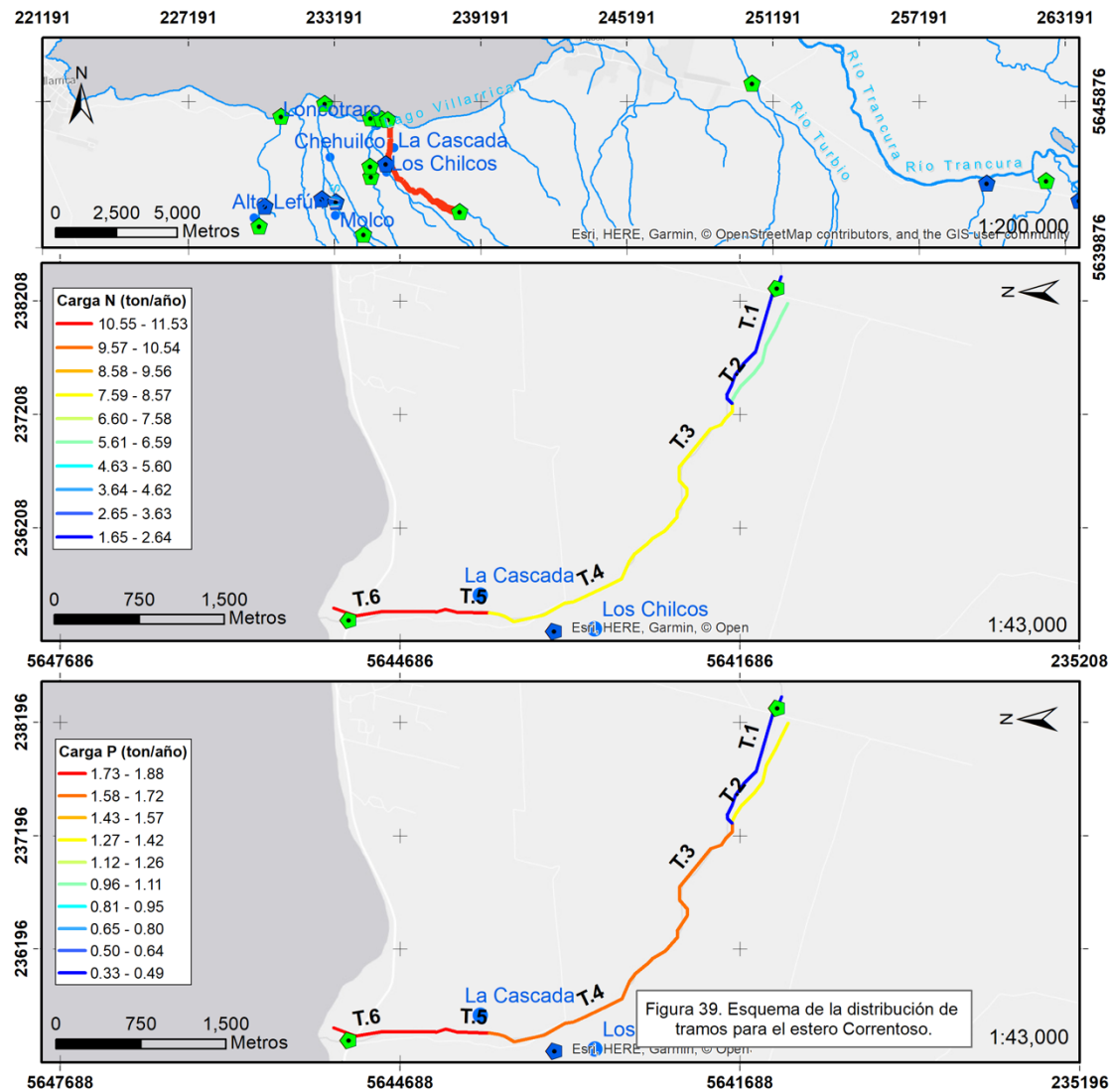
El estero Correntoso presenta descargas provenientes de la Piscicultura La Cascada. La Figura 39 presenta un resumen esquemático de la ubicación de la Piscicultura y la división de los tramos en el estero. La Tabla 43 presenta la geometría utilizada para el desarrollo del modelo de transporte sobre el estero Correntoso, donde la salida al Lago corresponde al tramo 6 (T.6). La Piscicultura La Cascada se encuentra ubicada en el tramo T.5. La carga de la fuente puntual se determinó y utilizó según lo planteado en la metodología, sección 3.3.

La validación del modelo de transporte se observa en la Figura 40a-b y Figura 41a-b de para Fósforo y Nitrógeno total con un UP y U_N de 0,102 y 0,174 respectivamente para el Escenario 1, y un UP y U_N de 0,116 y 0,174 respectivamente para el Escenario 2, lo que refleja una alta proximidad entre los valores observados y los valores modelados. La Figura 40c-d y Figura 41c-d presenta una comparativa del tramo de control T.6 y el tramo T.5 con la presencia de la descarga de la piscicultura La Cascada, tanto para Fósforo como para Nitrógeno total.

La Figura 40e-f y Figura 41e-f muestra un análisis comparativo del flujo másico por cada elemento entre el tramo de control T.6 y el tramo con descargas de piscicultura T.5, donde es posible notar que el aporte de Nitrógeno y Fósforo total tiene alta relación entre estos dos tramos lo que se debe a la proximidad de los mismos. La correlación entre los tramos T.5 y T.6 se muestra en la Figura 42 y Figura 43 para Fósforo y Nitrógeno Total.






Tabla 43. Geometría utilizada para modelo de estero Correntoso.

Nombre del segmento	Largo (m)	Ancho (m)	Área Superficial (m ²)	Profundidad promedio (m)	Volumen (m ³)	Tiempo Residencia (día)	Velocidad (m/día)	Pendiente (m/m)
T.1 Est. Correntoso	1257.75	2.70	3395.93	0.25	848.98	0.02362	0.62	0.0476829
T.2 Est. Sin Nombre	1023.43	2.70	2763.26	0.38	1050.04	0.00564	0.41	0.0586003
T.3 Est. Correntoso	1755.00	3.55	6230.25	0.32	1962.53	0.05460	0.37	0.0569541
T.4 Est. Correntoso	1520.59	3.55	5398.09	0.32	1700.40	0.04731	0.37	0.0460136
T.5 Est. Correntoso	940.16	4.40	4136.70	0.25	1034.18	0.02877	0.38	0.0318946
T.6 Est. Correntoso	452.80	4.40	1992.32	0.38	757.08	0.02106	0.25	0.0882980



**M.3 Estero Correntoso
Carga Anual de Nutrientes
Ribera Lago Villarrica
Novena Región**


Leyenda

-  Calidad
-  Aforos
-  Pisciculturas y PTAS
-  M.3 Estero Correntoso
-  Red hídrica

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM


Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

Mandante:



Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

Figura 39. Esquema de la distribución de tramos para el estero Correntoso.

ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

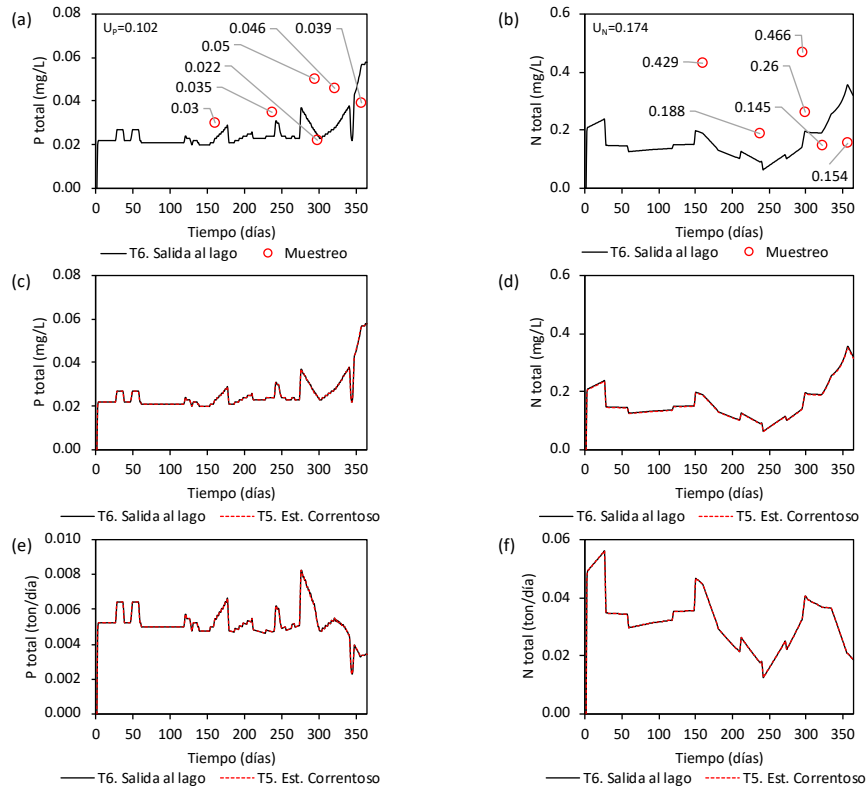


Figura 40. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Correntoso: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago) y T.5 (Estero Correntoso). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores $LD=50\%$

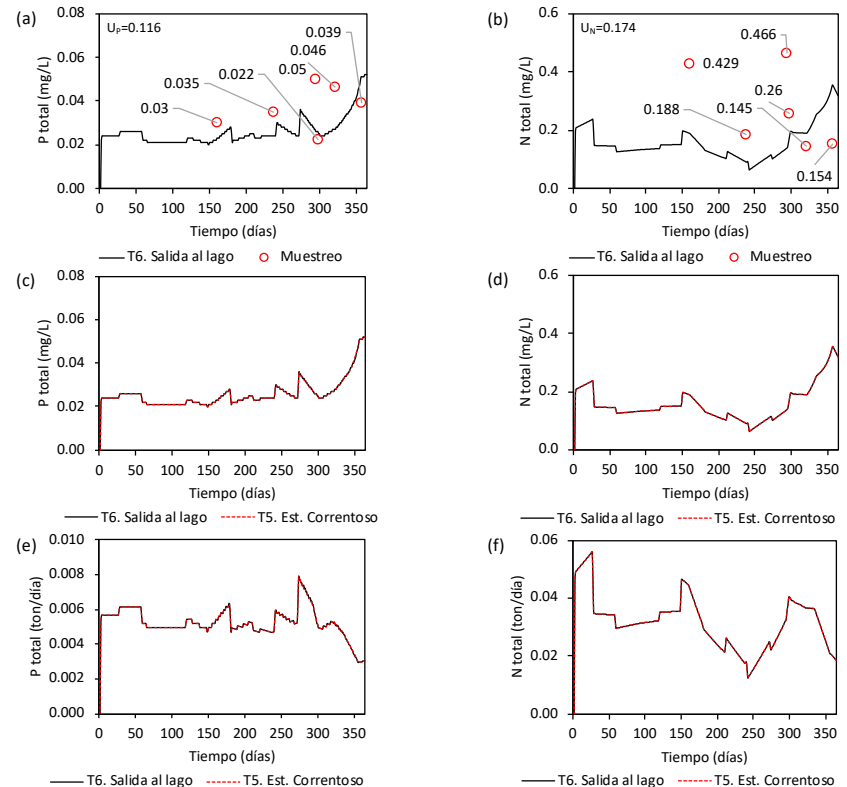
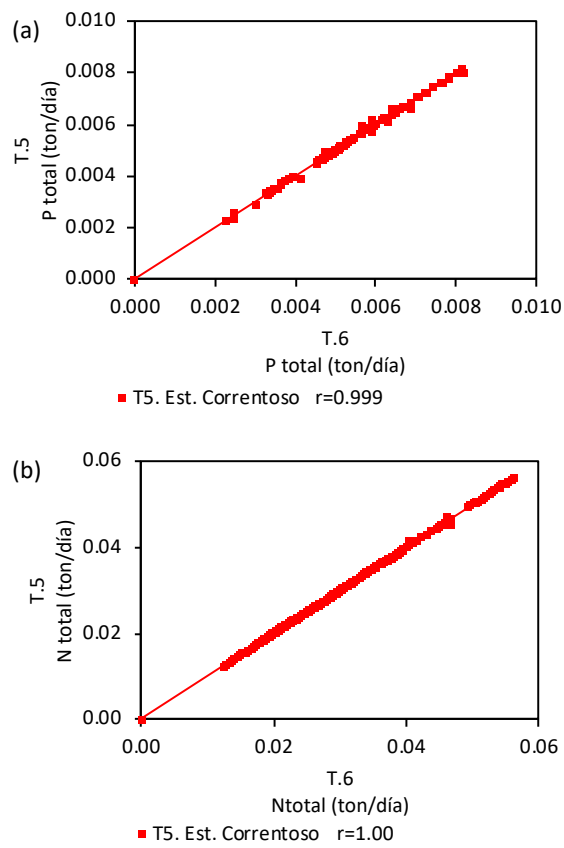


Figura 41. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Correntoso: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago) y T.5 (Estero Correntoso). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>



ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

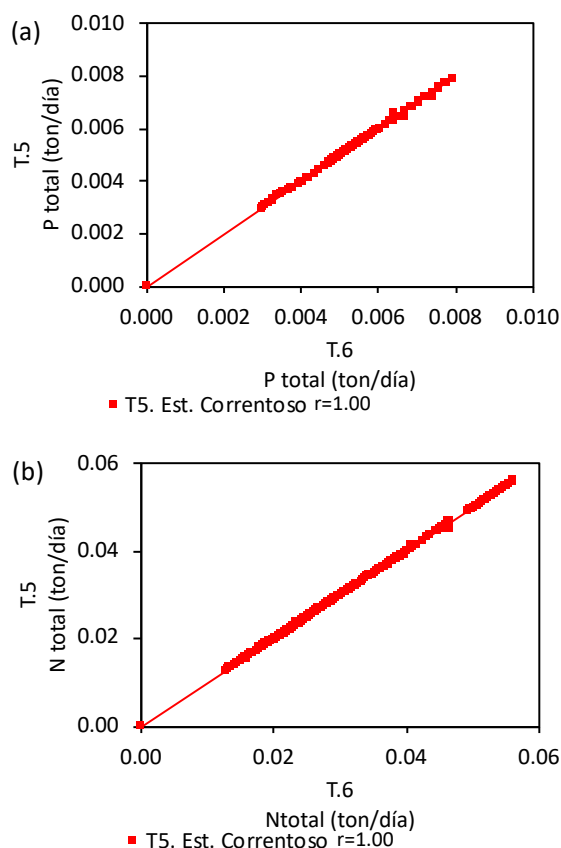


Figura 42. Escenario 1 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y el tramo con descarga T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

Figura 43. Escenario 2 – Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y el tramo con descarga T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

6.2.4 Estero Los Chilcos (M4)

El estero Los Chilcos presenta descargas provenientes de dos pisciculturas, Piscicultura Los Chilcos y Piscicultura Loncostraro. La Figura 44 presenta un resumen esquemático de la ubicación de las Pisciculturas y la división de los tramos en el estero. La Tabla 44 presenta la geometría utilizada para el desarrollo del modelo de transporte sobre el estero Los Chilcos, donde la salida al Lago corresponde al tramo T.6. La Piscicultura Los Chilcos se encuentra ubicada en el tramo T.2 y la Piscicultura Loncostraro en el tramo T.5. La carga de las fuentes puntuales se determinó y utilizó según lo planteado en la metodología, sección 3.3.

La validación del modelo de transporte se observa en la Figura 45a-b y Figura 46a-b para Fósforo y Nitrógeno total con un U_P y U_N de 0.177 y 0.112 para el Escenario 1 respectivamente y para el Escenario 2 un U_P y U_N de 0.152 y 0.249 respectivamente, lo que refleja una alta proximidad entre los valores observados y los valores modelados.

La Figura 45c-d y Figura 46c-d presenta una comparativa de las concentraciones de Fósforo y Nitrógeno entre el tramo de control T.6 y los tramos T.2 y T.5 con presencia de descargas de pisciculturas, tanto para Fósforo como para Nitrógeno total.

La Figura 45e-f y Figura 46e-f presenta un análisis comparativo del flujo másico de Fósforo y Nitrógeno entre los tramos de control T.6 y los tramos con descargas de pisciculturas T.2 y T.5, es posible notar que el aporte de Nitrógeno y Fósforo en T.6 tiene una alta relación con lo que ocurre en el tramo T.5. La correlación entre los tramos T.2 y T.5 con el control T.6 se muestra en la Figura 47.

Tabla 44. Geometría utilizada para modelo de estero Los Chilcos.

Nombre del segmento	Largo (m)	Ancho (m)	Área Superficial (m ²)	Profundidad promedio (m)	Volumen (m ³)	Tiempo Residencia (día)	Velocidad (m/día)	Pendiente (m/m)
T.1 Est. Chilcos	1277.90	4.00	5111.60	0.47	2402.45	0.010	1.55	0.0264233
T.2 Est. Chilcos	906.25	4.00	3625.01	0.47	1703.76	0.007	1.55	0.0571537
T.3 Est. Chilcos	889.10	6.00	5334.60	0.32	1707.07	0.007	1.52	0.0224841
T.4 Est. Chilcos	464.89	8.00	3719.12	0.17	632.25	0.003	2.14	0.0316466
T.5 Est. Chilcos	160.92	8.00	1287.36	0.17	218.85	0.001	2.14	0.1186137
T.6 Est. Chilcos	251.80	8.00	2014.43	0.17	342.45	0.001	2.14	0.1287137

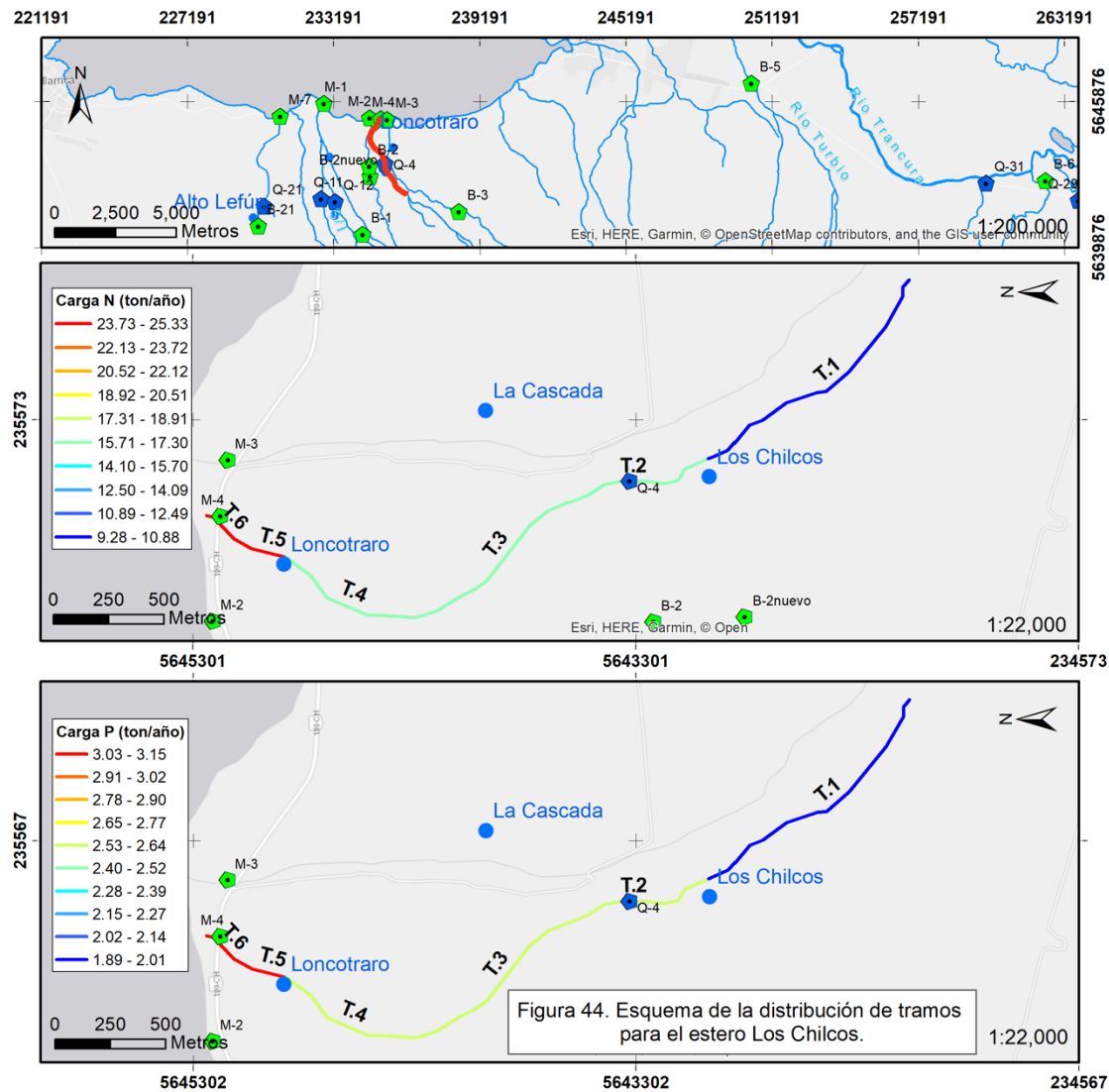


Figura 44. Esquema de la distribución de tramos para el estero Los Chilcos.

**M.4 Estero Los Chilcos
Carga Anual de Nutrientes
Ribera Lago Villarrica
Novena Región**


Leyenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.4 Estero Los Chilcos
- Red hídrica

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

Mandante:




Figura 44. Esquema de la distribución de tramos para el estero Los Chilcos.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

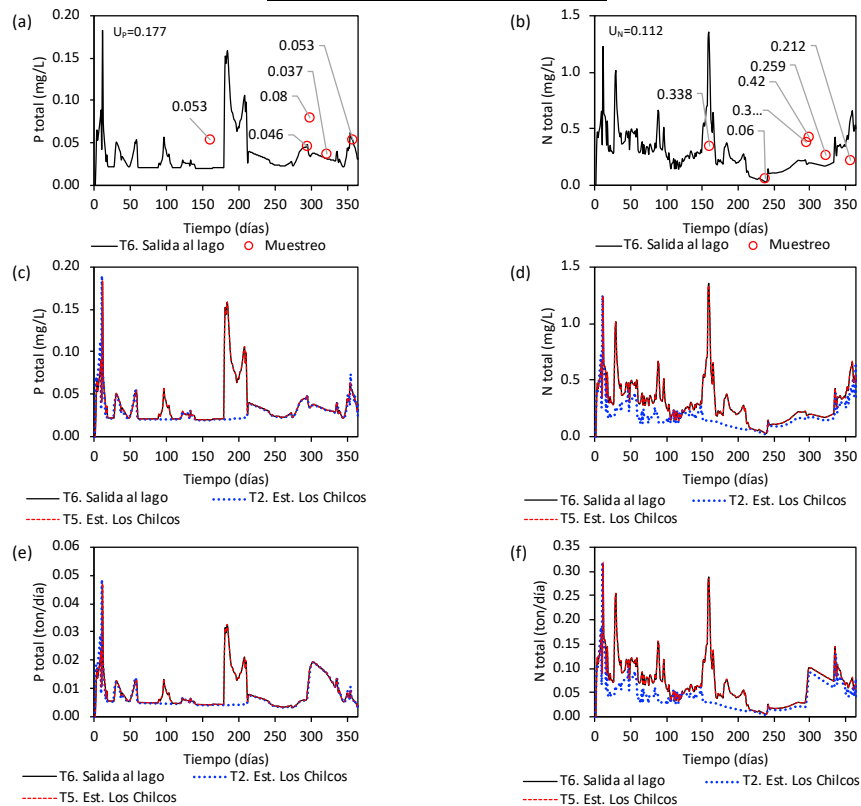


Figura 45. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Los Chilcos: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago), T.2 y T.5 (Estero Los Chilcos). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6, T.2 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

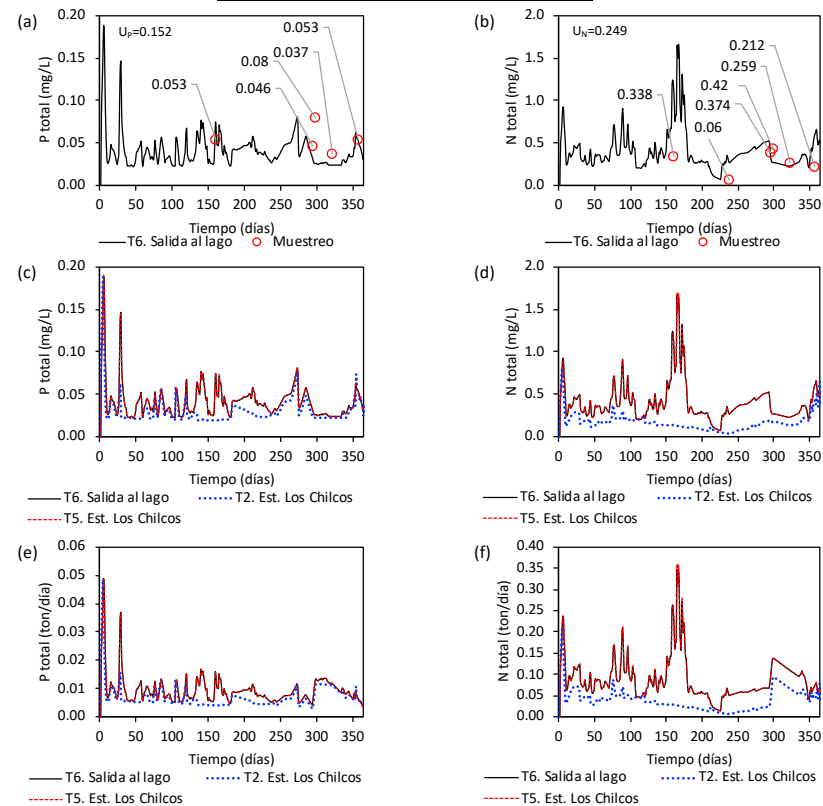


Figura 46. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Los Chilcos: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago), T.2 y T.5 (Estero Los Chilcos). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6, T.2 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

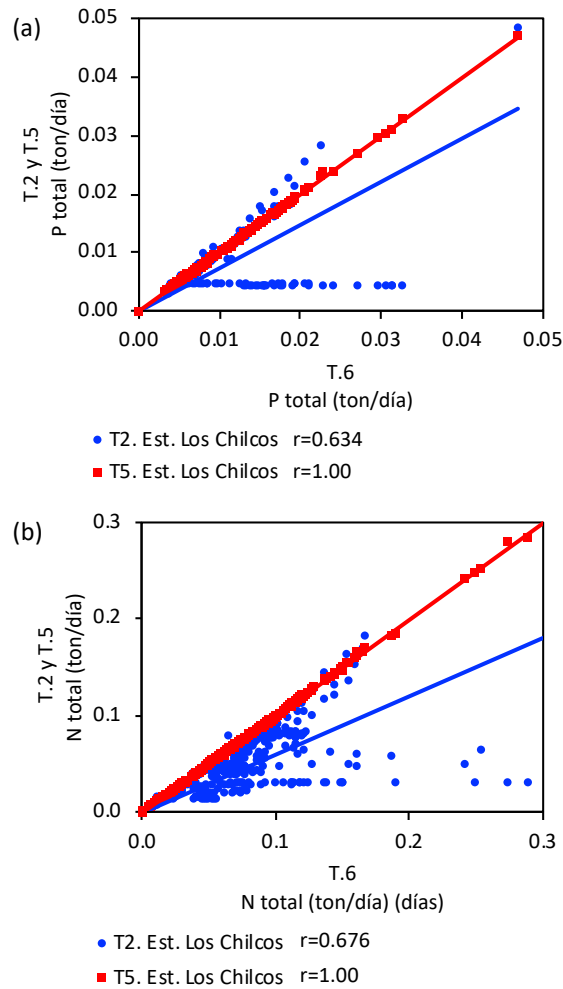


Figura 47. Escenario 1— Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y los tramos con descarga de pisciculturas T.2 y T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

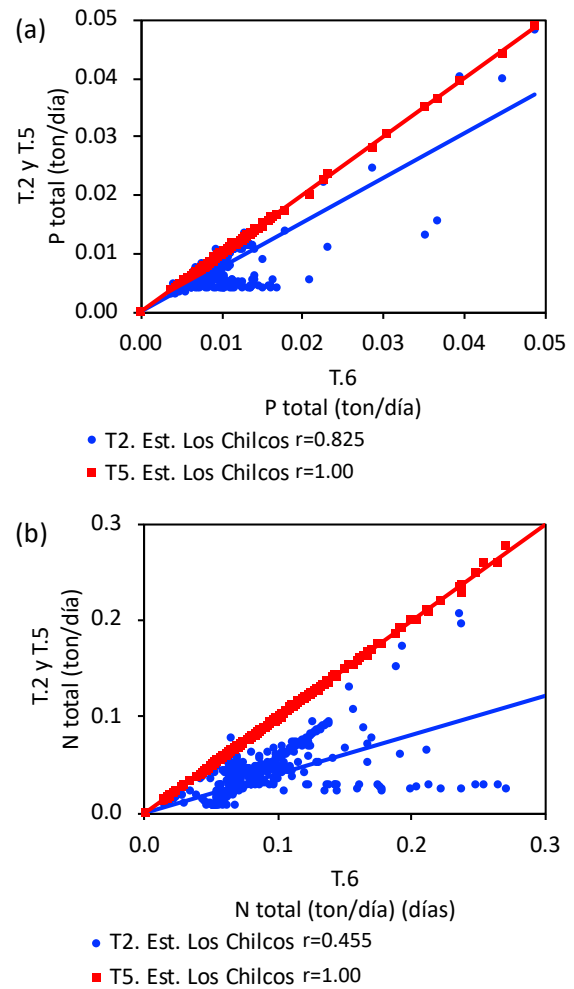


Figura 48. Escenario 2— Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y los tramos con descarga de pisciculturas T.2 y T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

6.2.5 Río Trancura (M5)

Para el cálculo de las series de tiempo respecto al flujo de cada uno de los cauces tributarios al río Trancura, se estableció un aporte porcentual de cada tributario según los aforos realizados en terreno en función del punto M-5 ubicado en el puente Quelhue según modelo topológico presentado en la Figura 9. Datos de altura tomados de forma diaria por la Dirección General de Aguas (DGA) en puente Quelhue permitieron establecer una relación temporal entre la serie de tiempo medida en M5 y los aportes porcentuales de cada tributario, los valores de cada aporte se presentan en la Tabla 45 y en la Figura 49. La carga de las fuentes puntuales se determinó y utilizó según lo planteado en la metodología, sección 3.

La geometría utilizada para cada tramo del modelo del río Trancura se presenta en la sección 14. Anexo 5, esto debido a la extensión de la tabla por el número de tramos utilizados (118 tramos).

La Figura 50 presenta el resumen de cargas de todos los tramos de modelación para el Río Trancura, del cual es posible observar que, para el caso del Nitrógeno total, este vendría principalmente desde Liucura. Respecto del Fósforo total, este provendría principalmente del Río Trancura.

La Figura 51 presenta un esquema de la zona de desembocadura del río Trancura al Lago Villarrica, el punto de muestreo y aforos M5 se ubica en el tramo 103 (T.103) de la figura. La Figura 52 a-b y Figura 53a-b presentan los resultados del modelo de transporte y la validación según los muestreos realizados en M5 (puente Quelhue) con un U_P y U_N de 0.135 y 0.232 para el Escenario 1 y 0.158 y 0.254 para el Escenario 2 respectivamente, lo que refleja una proximidad aceptable entre los valores observados y los valores modelados.

La Figura 52c-d y Figura 53c-d presentan una comparativa de las concentraciones del tramo de control T.103 y los tramos T.100, T.102 y T.76, los cuales son tributarios a T.103. Se observa que la concentración de Nitrógeno Total es más importante en Liucura (T.100) mientras que el fósforo parece provenir principalmente de Liucura (T.76) y Trancura (T.100). Los datos de carga presentados en la Figura 52 e-f y Figura 53e-f demuestran que Trancura (T.76) es responsable del mayor aporte de Fósforo Total, pero que en el caso del Nitrógeno Total, esta responsabilidad se comparte entre Trancura (T.76) y Liucura (T.100). Los aportes del Río Turbio no son significativos en comparación a Liucura y Trancura.

La correlación entre los tramos T.100, T.102 y T.76 con el control T.103 se presenta en la Figura 54 y Figura 55, estas confirman las observaciones antes planteadas.

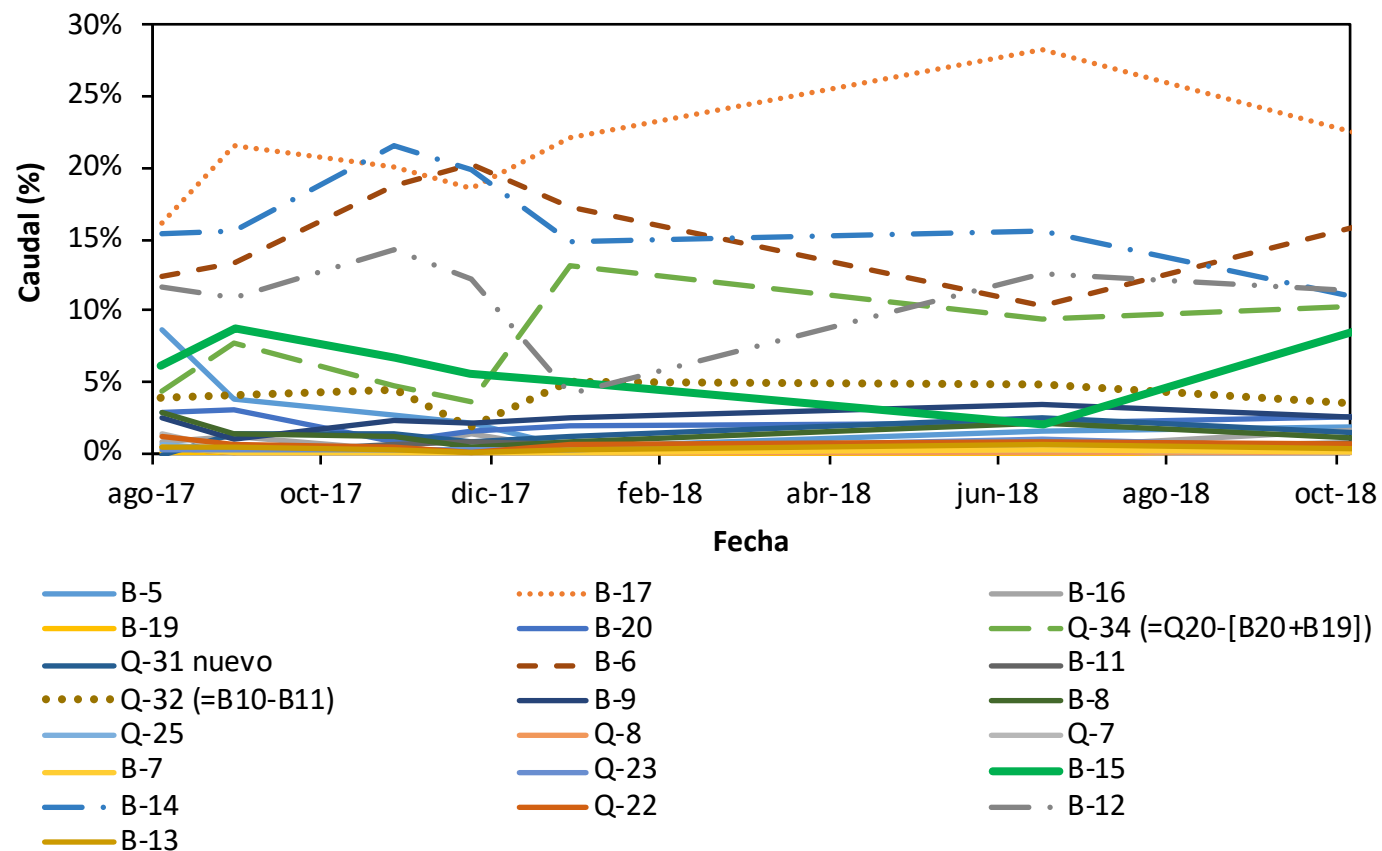


Figura 49: Serie temporal de los aportes de ríos y esteros al M-5 (Quelhue) asociado a las campañas en terreno. Elaboración propia.



Tabla 45. Distribución de flujos para ríos y esteros tributarios al río Trancura.

Nombre	ID	Fecha							
		31-07-17 a 02-08-17	26-09-17	22-11-17	19-12-17	23-01-18	10-07-18 11-07-18	26-11-18 27-11-18	
Río Turbio	B-5	8.73%	3.77%	2.77%	2.18%	0.48%	1.59%	1.88%	
Río Liucura	B-17	16.21%	21.65%	20.09%	18.50%	22.12%	28.18%	21.00%	
E. Quetroleufu	B-16	0.90%	1.24%	0.23%	1.32%	0.23%	0.48%	1.97%	
E. Carileufu	B-19	0.05%	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.00%	0.39%	
Estero Carhuello	B-20	2.83%	3.12%	0.77%	1.61%	1.91%	2.18%	2.67%	
Río Caburgua	Q-34	4.30%	7.81%	4.77%	3.65%	13.24%	9.44%	10.59%	
E. Llafenco	Q-31	N/A	1.39%	1.39%	0.88%	1.28%	2.47%	1.25%	
Río Palgulil	B-6	12.47%	13.39%	18.71%	20.26%	17.19%	10.40%	17.19%	
	B-11	0.48%	0.02%	0.74%	0.80%	0.60%	0.44%	0.81%	
	Q-32	3.95%	4.19%	4.43%	1.95%	4.97%	4.93%	3.12%	
	B-9	2.61%	0.99%	2.26%	2.08%	2.55%	3.40%	2.26%	
Río Cavisañi	B-8	2.87%	1.33%	1.29%	0.56%	0.93%	2.16%	0.85%	
	Q-25	0.59%	0.25%	0.20%	0.28%	0.21%	0.51%	0.18%	
	Q-8	0.51%	0.15%	0.19%	0.08%	0.11%	0.14%	0.09%	
	Q-7	1.36%	0.23%	0.25%	0.16%	0.24%	0.24%	0.09%	
	B-7	0.43%	0.18%	0.15%	0.07%	0.13%	0.21%	0.14%	
E. sin nombre1	Q-23	0.26%	0.33%	0.29%	0.26%	0.31%	1.02%	0.26%	
Río Panguí	B-15	6.21%	8.86%	6.66%	5.52%	4.99%	2.02%	10.31%	
Río Maichin	B-14	15.33%	15.64%	21.59%	19.92%	14.80%	15.64%	9.85%	
Río Trancura	Q-22	1.13%	0.74%	0.56%	0.17%	0.61%	0.91%	0.58%	
	B-12	11.70%	10.97%	14.36%	12.26%	4.24%	12.67%	11.16%	
E. sin nombre2	B-13	0.56%	0.45%	0.27%	0.16%	0.32%	0.65%	0.33%	
Quelhue (Trancura)	M5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

*N/A -> No Aforado

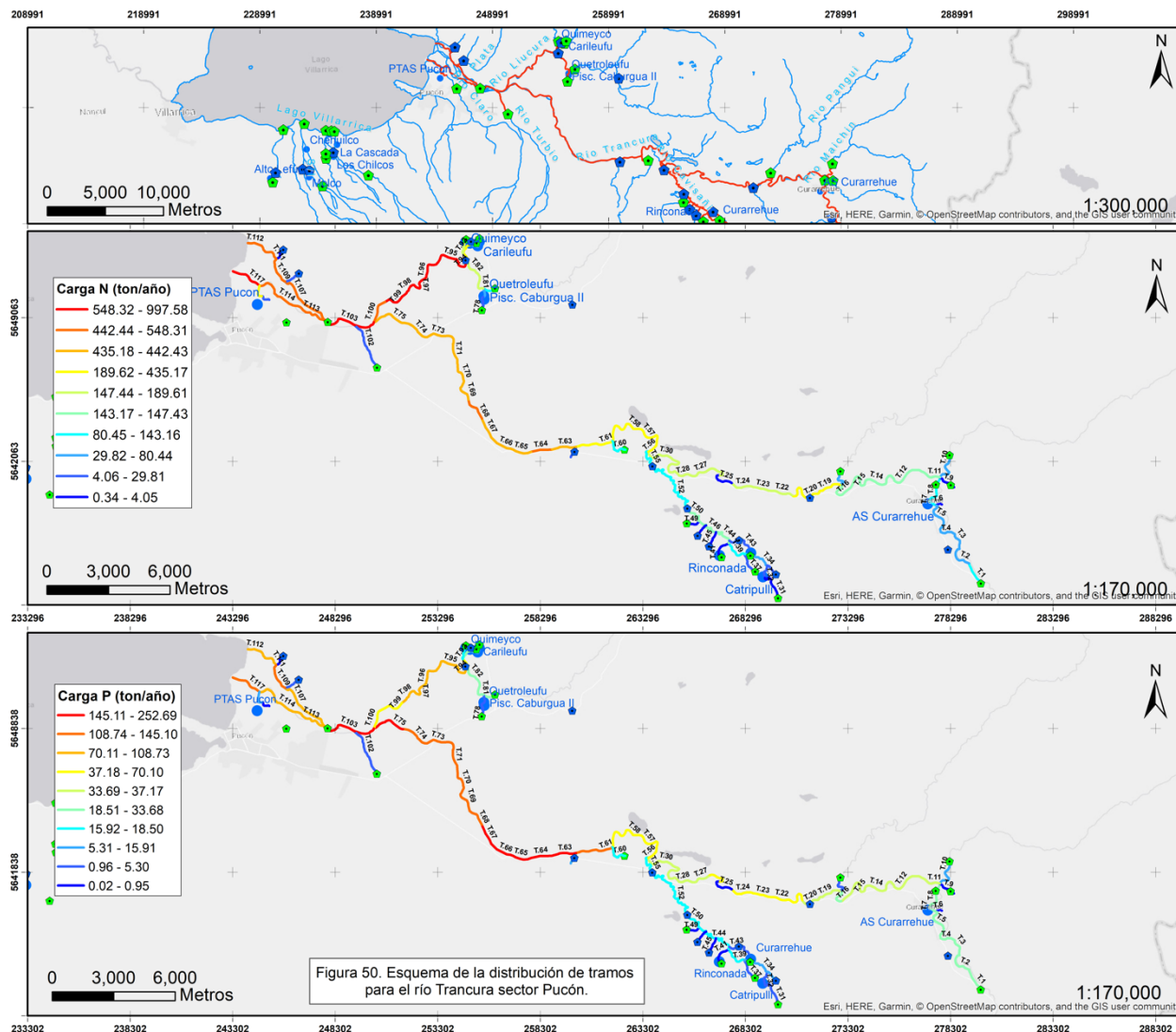


Figura 50. Esquema de la distribución de tramos para el río Trancura sector Pucón.

**M.5 Rio Trancura
 Carga Anual de Nutrientes
 Novena Región**

Leyenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M5. Rio Trancura
- Red hídrica

Proyección Cartográfica
 Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
 Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por

Mandante:

Figura 50. Esquema de la distribución de tramos para el río Trancura sector Pucón.

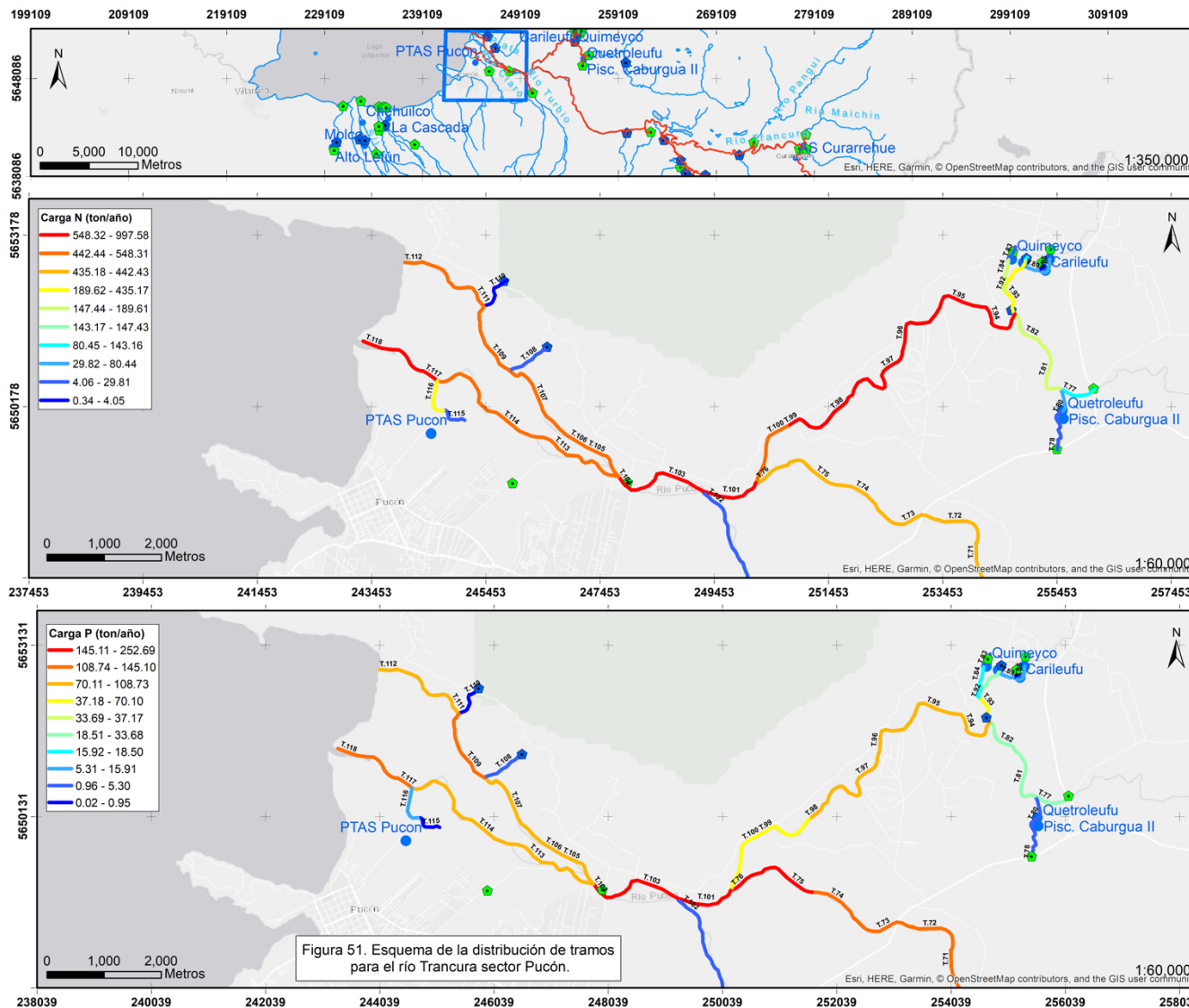


Figura 51. Esquema de la distribución de tramos para el río Trancura sector Pucón.

**M.5 Río Trancura
Carga Anual de Nutrientes
Zona 1, Delta Pucón
Novena Región**

Legenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.5. Río Trancura
- Red hídrica
- Zonificación

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



Mandante:



Figura 51. Esquema de la distribución de tramos para el río Trancura sector Pucón.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

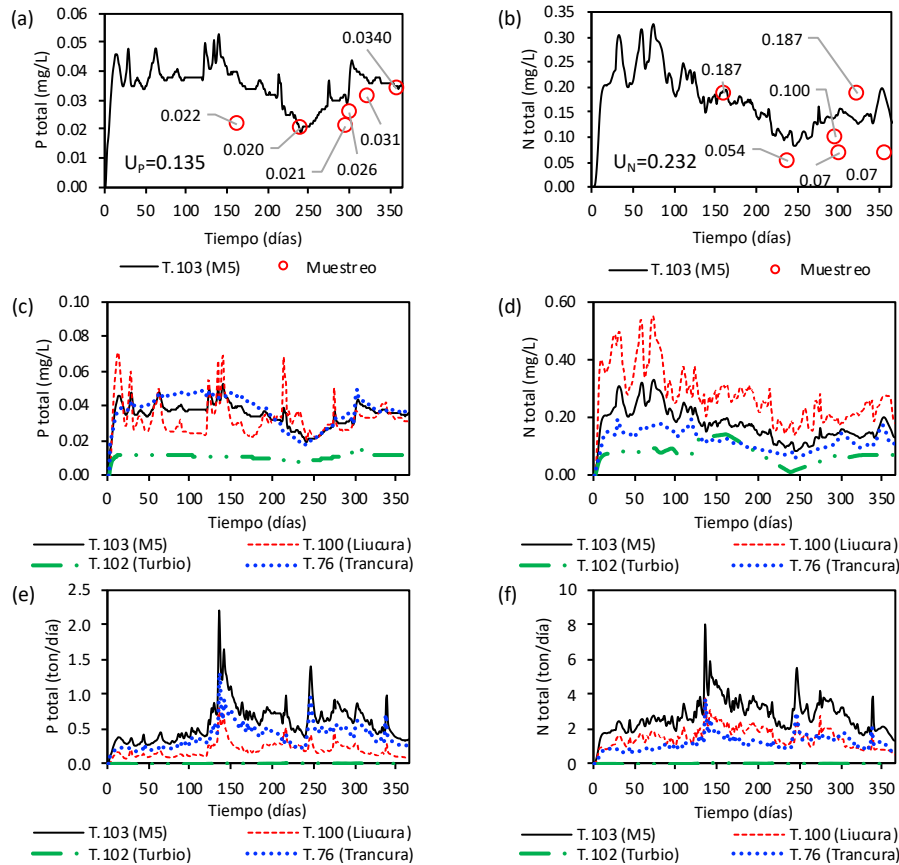


Figura 52. Escenario 1—Río Trancura: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.103 (Control), T.100, 102 y T.76. Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.103 (control), T.100, T.102 y T.76 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

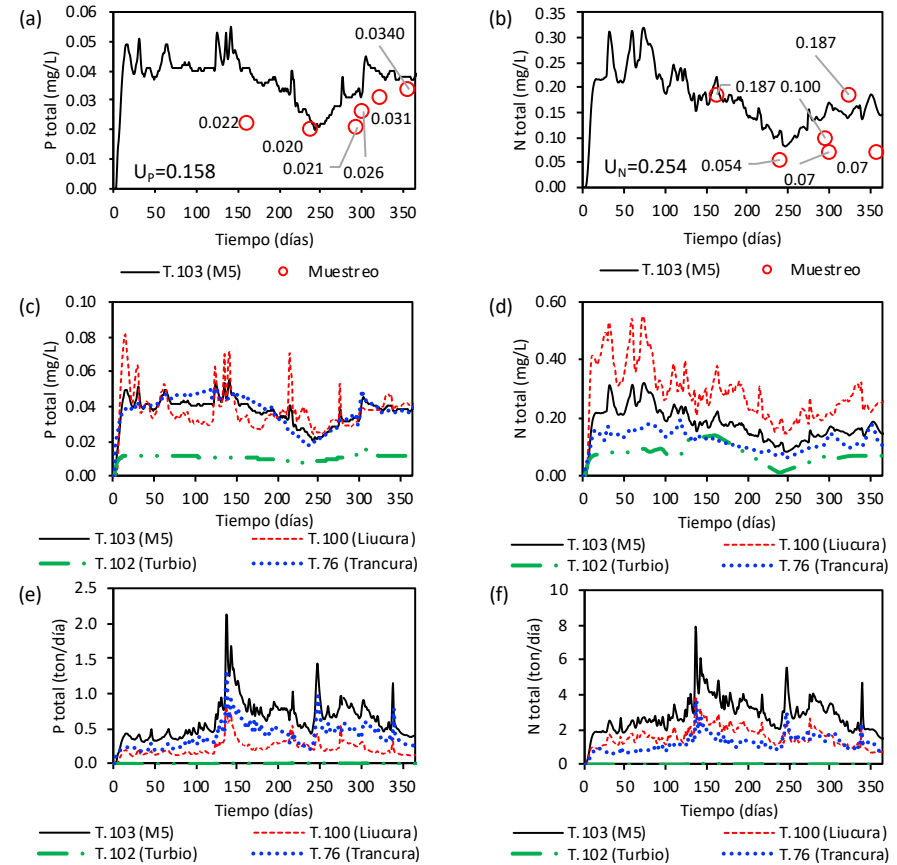


Figura 53. Escenario 2—Río Trancura: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.103 (Control), T.100, 102 y T.76. Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.103 (control), T.100, T.102 y T.76 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

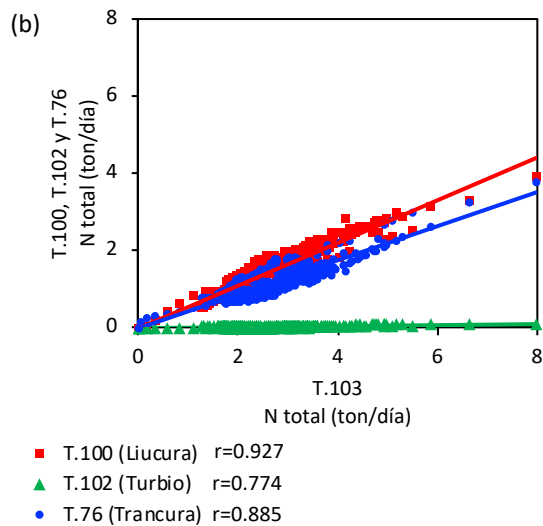
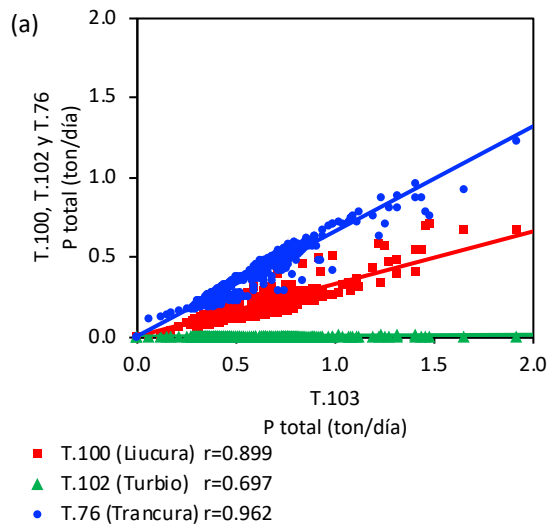


Figura 54. Escenario 2—Correlación de concentraciones entre el tramo de control T.103 y los tramos tributarios T.100, T.102 y T.76: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

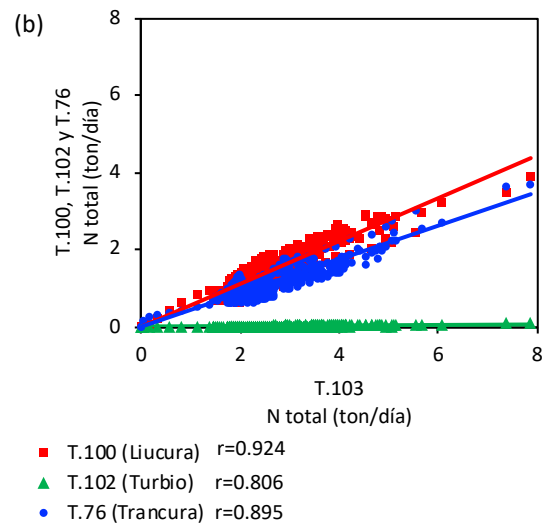
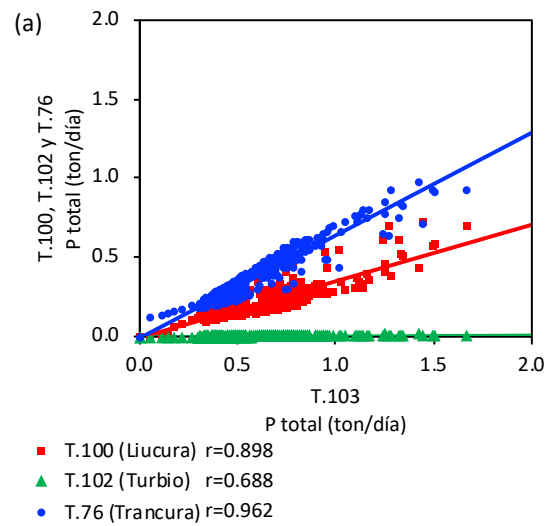


Figura 55. Escenario 2—Correlación de concentraciones entre el tramo de control T.103 y los tramos tributarios T.100, T.102 y T.76: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



Al realizar un análisis más detallado por tramo aportante a M5, es posible observar que para el caso del río Liucura (ver Figura 56), este posee tres cauces tributarios importantes representados por los ríos Carhuello (T.84), río Carileufu (T.91) y río Liucura (T.82). Para el caso, la Figura 57 y Figura 58 presentan un resumen gráfico de la relación de aportes desde estos tramos al tramo 100 (T.100). Es posible observar que el tramo T.84 (Carhuello) muestra una alta concentración de Nitrógeno y Fósforo Total durante el año (Figura 57a-b y Figura 58a-b), pero en términos de carga tanto Liucura (T.82), Carileufu (T.91) como Carhuello (T.84) tienen responsabilidades compartidas, tanto para el Nitrógeno como para el Fósforo Total (ver Figura 57c-d-e-f y Figura 58c-d-e-f).

Por otro lado, las Pisciculturas aportantes al tramo T.100 pueden ser descritas de la siguiente manera: Piscicultura Caburgua I en tramo T.91, Piscicultura Quimeyco en tramo T.84, Piscicultura Carileufu en tramo T.86, Piscicultura Caburgua II en tramo T.79, Piscicultura Ojos del Caburgua en tramo T.85 y Piscicultura Quetroleufu en tramo T.80. Respecto de la Piscicultura Carileufu en tramo T.86, no fue posible obtener datos de descarga que permitirán incorporar su participación en el modelo de transporte, por lo que no será incluida en el análisis.

La Figura 59 y Figura 60 presentan el resumen de cargas en los tramos del Río Liucura y los tramos que presentan descargas de pisciculturas. Es posible observar que el tramo T.84 (P. Quimeyco) muestra una carga importante de Fósforo Total (Figura 59c y Figura 60c), respecto del Nitrógeno Total, todos los tramos presentan un comportamiento similar. Un aspecto a destacar es la alta concentración de Nitrógeno y Fósforo en el tramo T.85 (P.Ojos del Caburgua) esto puede deberse a que aguas arriba se encuentran los afloramientos de los Ojos del Caburgua que corresponderían a la desembocadura del Lago Caburgua, ello explicaría las altas concentraciones.

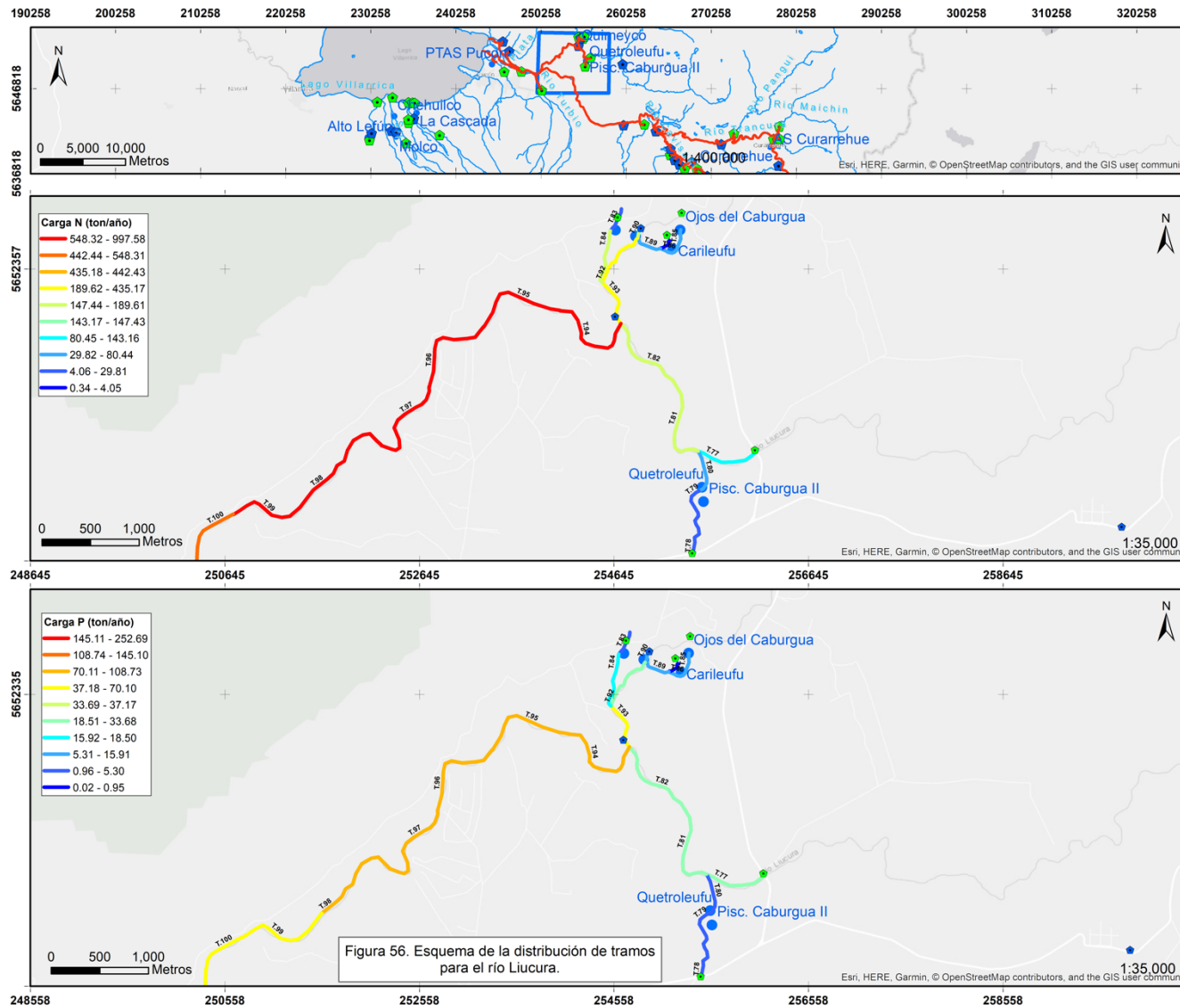


Figura 56. Esquema de la distribución de tramos para el río Liucura.

M.5. Río Trancura
Carga Anual de Nutrientes
Zona 2, Caburgua
Novena Región


Leyenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.5. Río Trancura
- Red hídrica
- Zonificación

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

Mandante:




Figura 56. Esquema de la distribución de tramos para el río Liucura.

ESCENARIO 1: Valores <LD=0

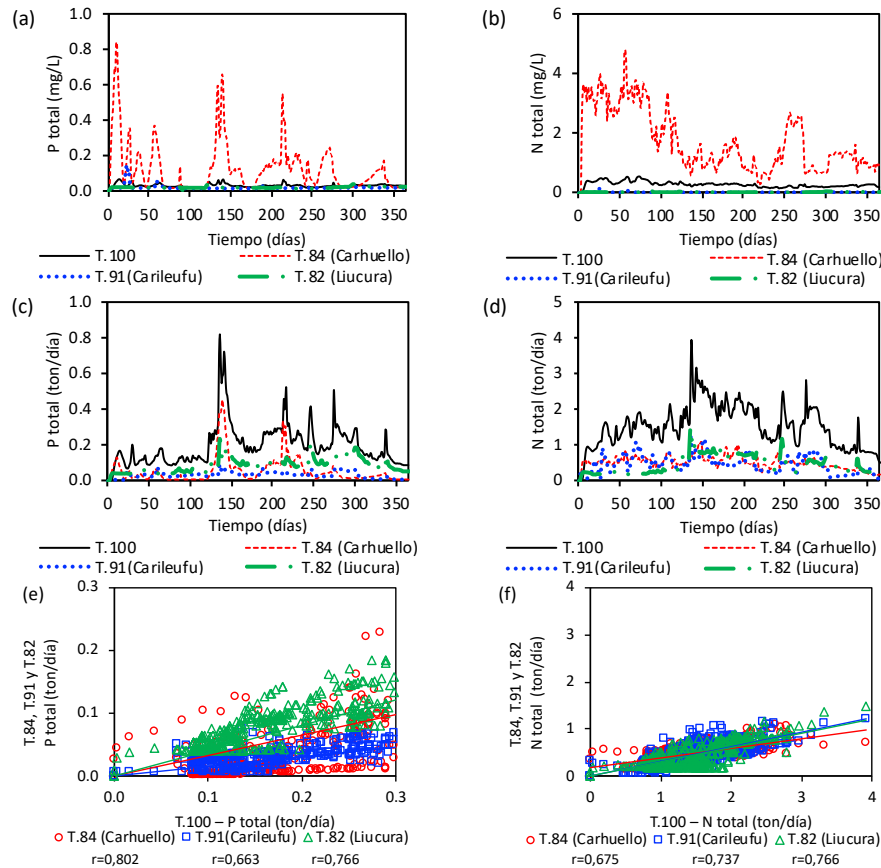


Figura 57. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos tributarios río Carhuello (T.84), río Carileufu (T.91) y río Liucura (T.82): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <LD=50%

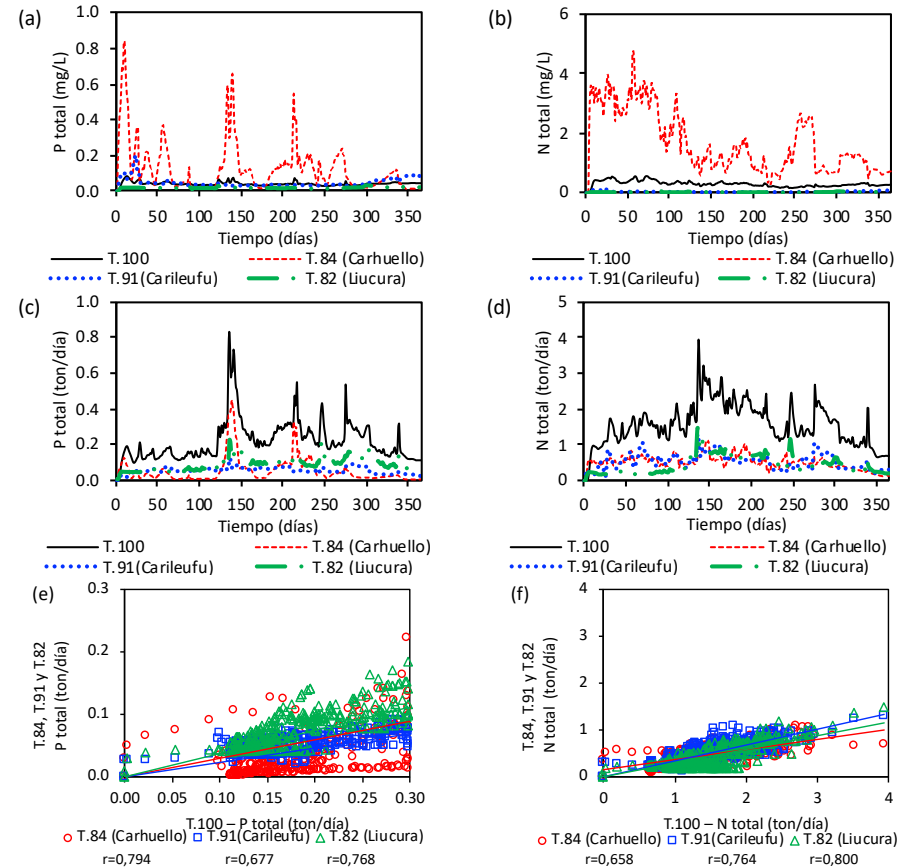


Figura 58. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos tributarios río Carhuello (T.84), río Carileufu (T.91) y río Liucura (T.82): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 1: Valores <LD=0

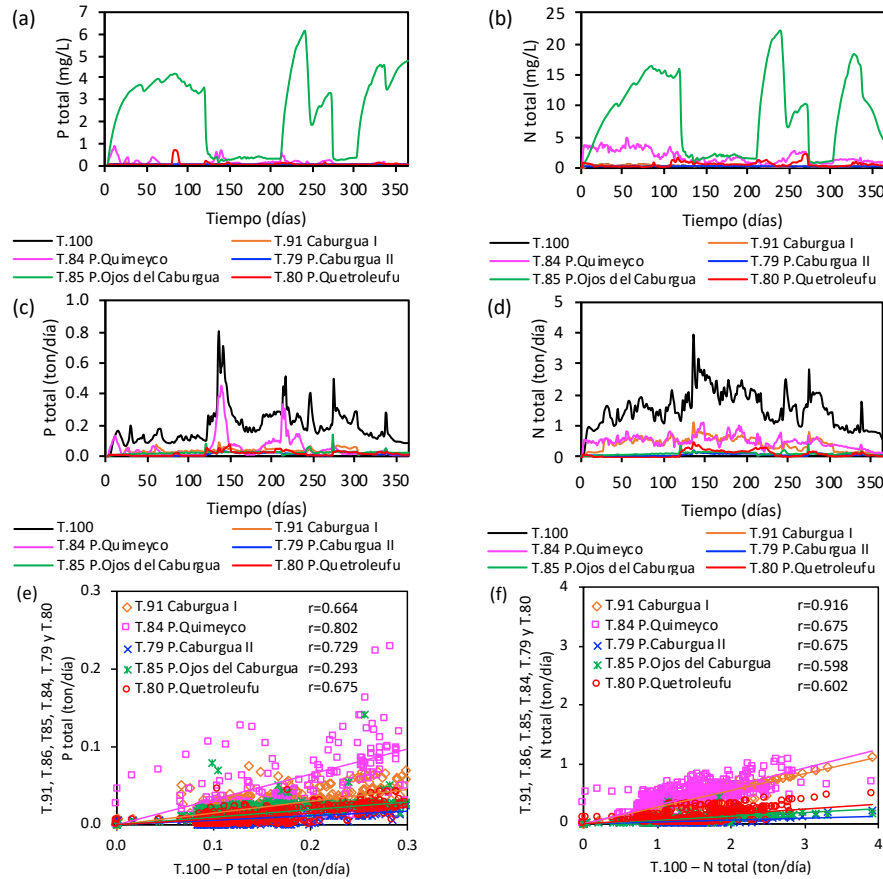


Figura 59. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos con presencia de descarga de pisciculturas: (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <LD=50%

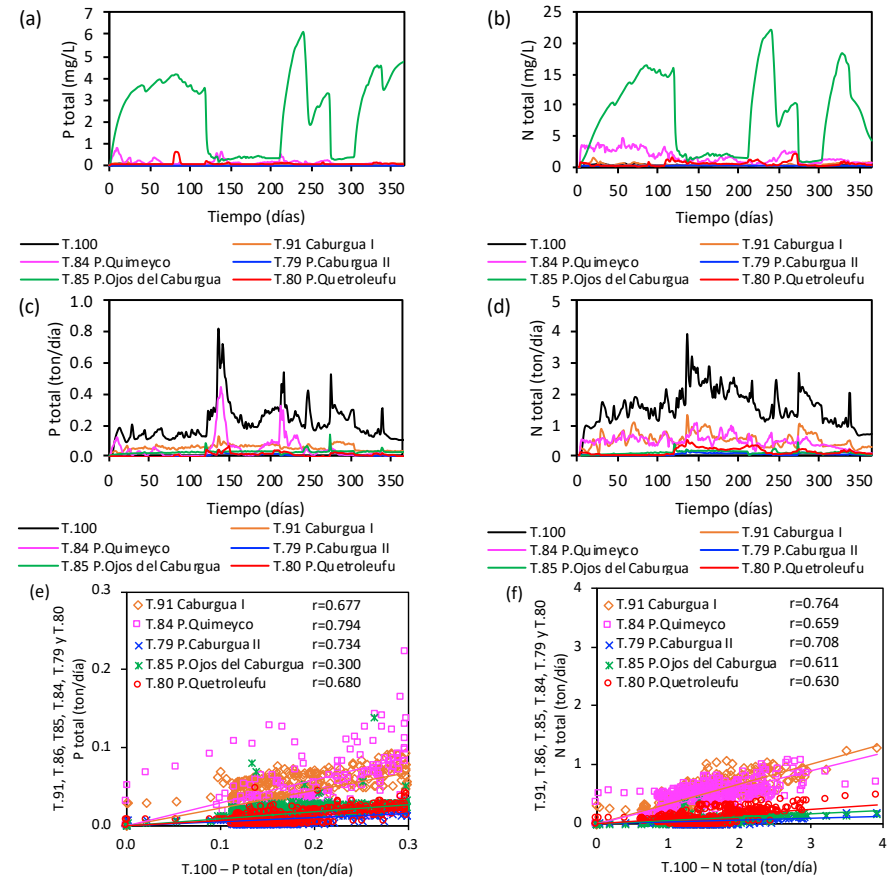


Figura 60. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos con presencia de descarga de pisciculturas: (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



Por otro lado, un detalle del tramo T.76 en Trancura se presenta en la Figura 61, y un análisis del comportamiento de las concentraciones y cargas en la Figura 62 y Figura 63 para los escenarios 1 y 2 respectivamente. El tramo T.76 tendría dos aportes importantes, río Trancura en sector Curarrehue (tramos T.1 a T.30) y río Cavisañi en sector Catripulli (tramos T.31 a T.55). Respecto al aporte de Fósforo y Nitrógeno, este provendría casi en partes iguales desde Cavisañi T.55 como de Trancura T.30 (Figura 62c-d y Figura 63c-d). A modo de aclaración, la Figura 61 no muestra el tramo T.76 por encontrarse aguas abajo de la intersección de los tributarios (T.30 y T.55).

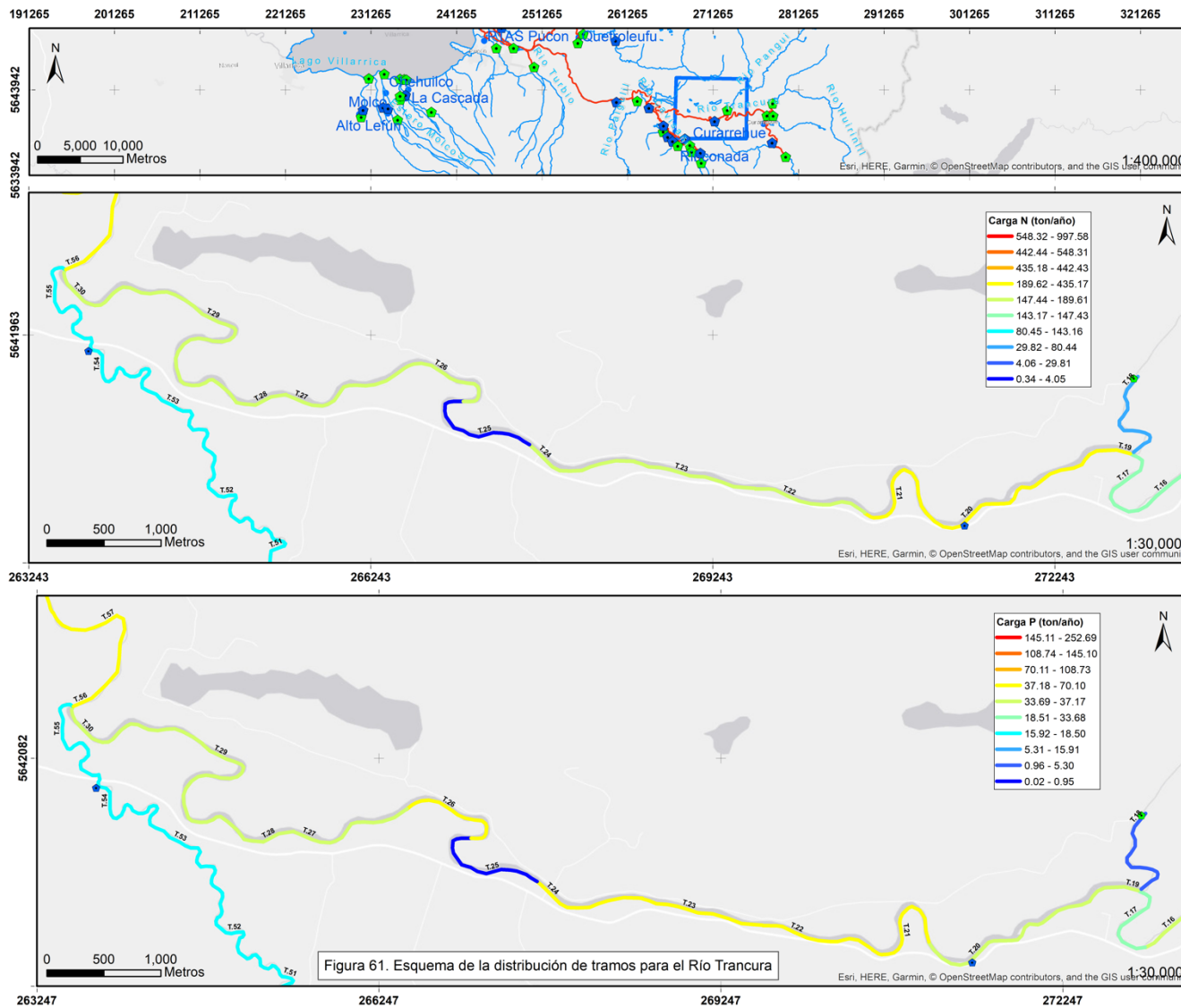


Figura 61. Esquema de la distribución de tramos para el Río Trancura

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

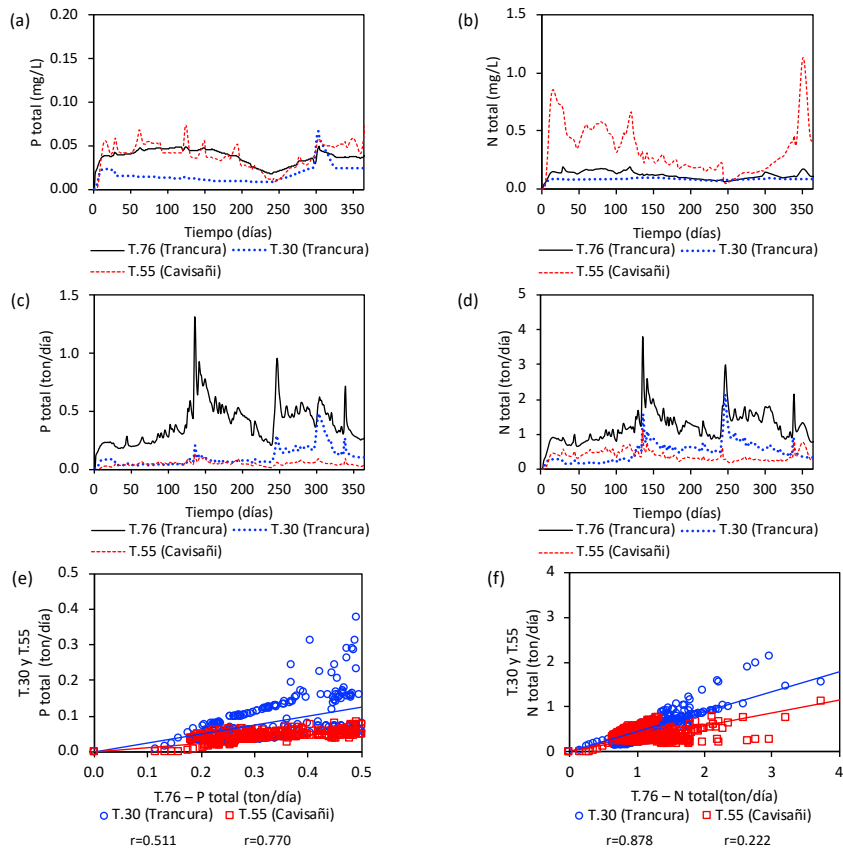


Figura 62. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.76 (Trancura) y los tramos tributarios río Trancura en Curarrehue (T.30) y río Cavisañi en Catripulli (T.55): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

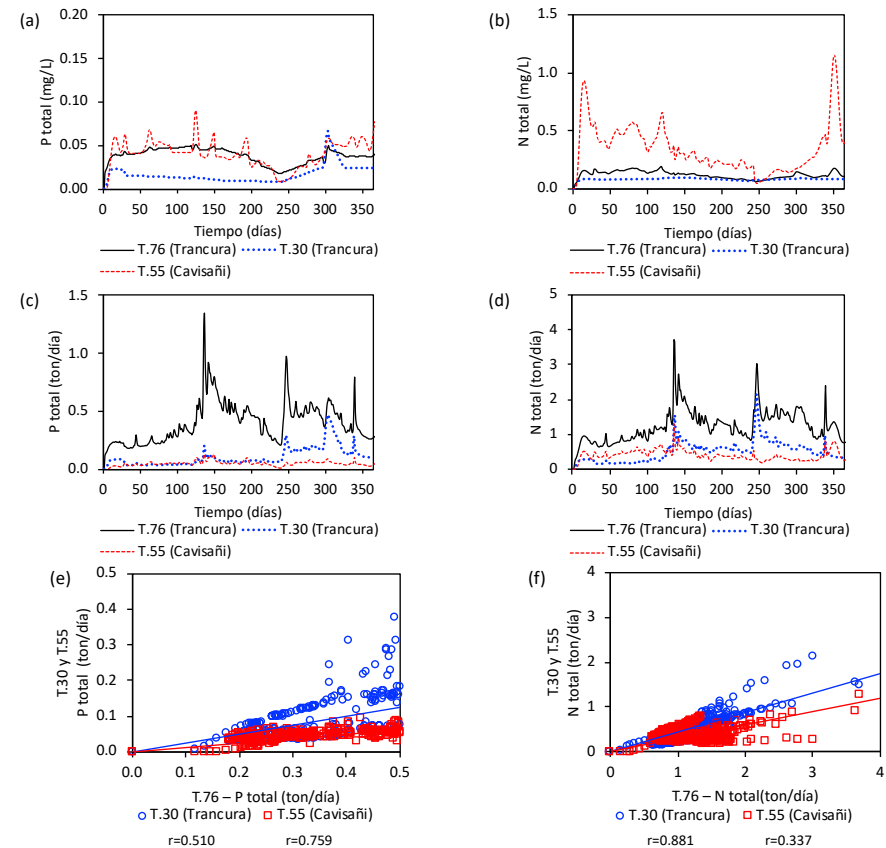


Figura 63. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.76 (Trancura) y los tramos tributarios río Trancura en Curarrehue (T.30) y río Cavisañi en Catripulli (T.55): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



Respecto a las principales fuentes puntuales en cada tributario a T.76. Utilizando como referencia el tramo T.30 para el río Trancura, aguas arriba el esquema topológico presentado en la Figura 9 muestra que existen al menos 7 tributarios representados por B-12, Q-22, Q-33, B-13, B-14, B-15 y Q-23. A pesar de esto, el mayor aporte corresponde a la descarga de las aguas servidas de Curarrehue, la cual se encuentra en el tramo T.7. Al comparar el flujo másico de T.30 con el de T.7 la relación queda en evidencia (ver Figura 64, Figura 65 y Figura 66).

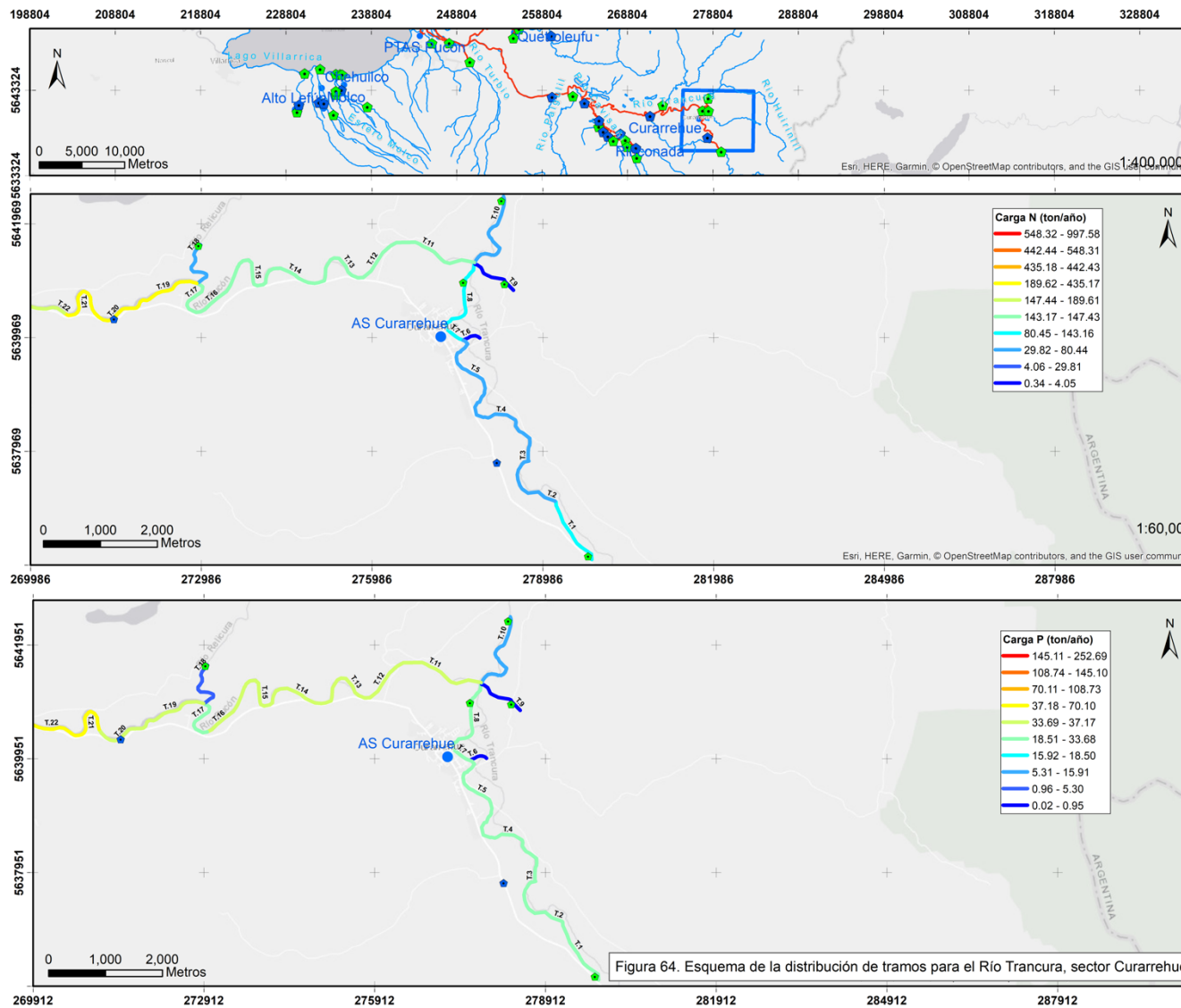


Figura 64. Esquema de la distribución de tramos para el Río Trancura, sector Curarrehue

**M.5 Río Trancura
Carga Anual de Nutrientes
Zona 6, Curarrehue 2
Novena Región**

Legenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.5. Río Trancura
- Red hídrica
- Zonificación

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



Mandante:




Figura 64. Esquema de la distribución de tramos para el Río Trancura

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

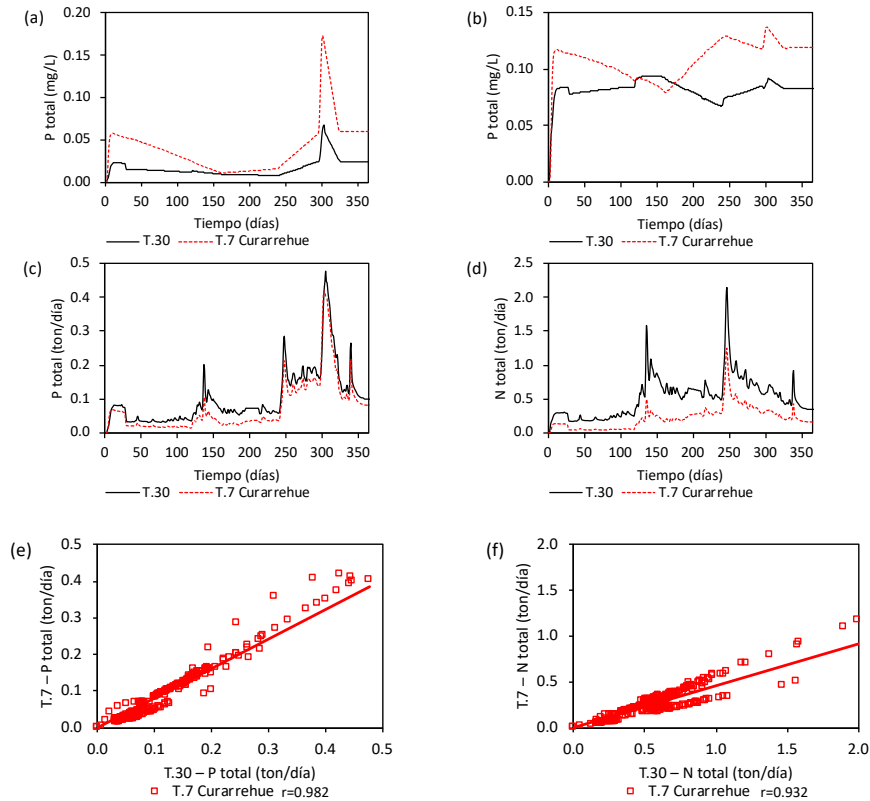


Figura 65. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes en Curarrehue. Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga diaria (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.30 (Trancura) y el tramo de Curarrehue T.7: (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

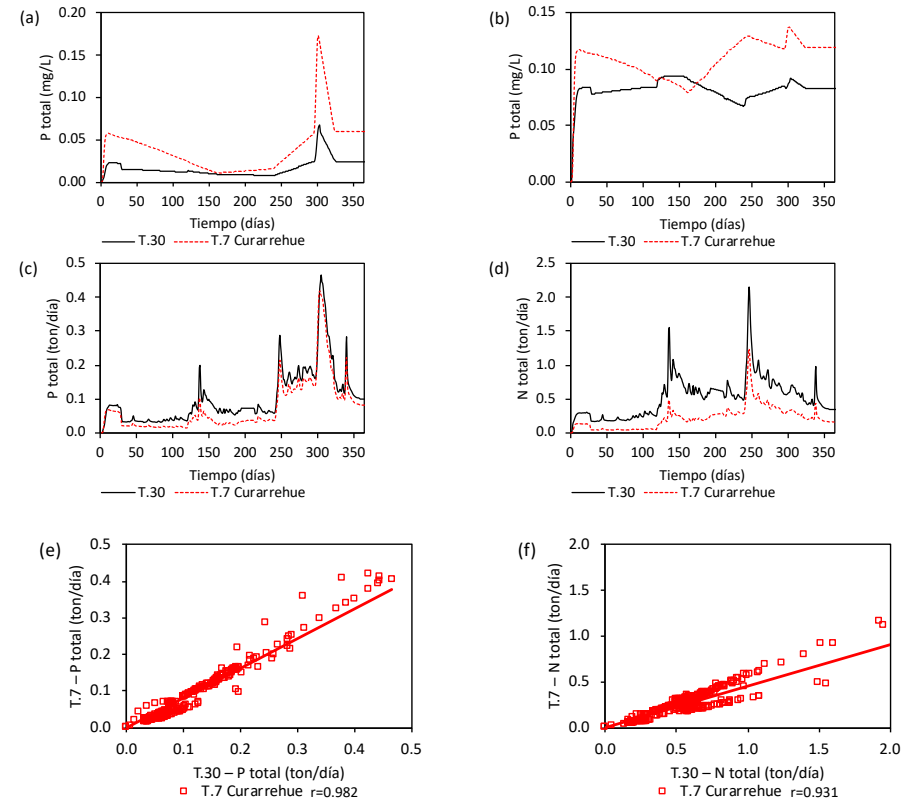


Figura 66. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes en Curarrehue. Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga diaria (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.30 (Trancura) y el tramo de Curarrehue T.7: (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



Respecto del río Cavisañi (división de tramos T.31 a T.55), este río posee tres descargas de fuentes puntuales: Piscicultura Catripulli en el tramo T.32, Piscicultura Curarrehue en tramo T.36 y Piscicultura Rinconada en el tramo T.41. En este caso, en las salidas a terreno fue posible verificar que la Piscicultura Rinconada (T.41) se encontraba sin uso, por lo que no existe información de descargas que puedan ser utilizadas en este estudio.

La Figura 67 presenta un detalle esquemático de las distribución de carga para Nitrógeno y Fósforo total en el sector de Catripulli y la Figura 68 y Figura 69 presentan la comparación de concentraciones y flujo másico para Nitrógeno y Fósforo en el tramo T.55 junto a los tramos que poseen descargas (T.32 y T.36), donde se observa que el tramo T.36 muestra una mayor correlación en las cargas de Nitrógeno y Fósforo Total con el tramo control, que en este caso es el T.55.

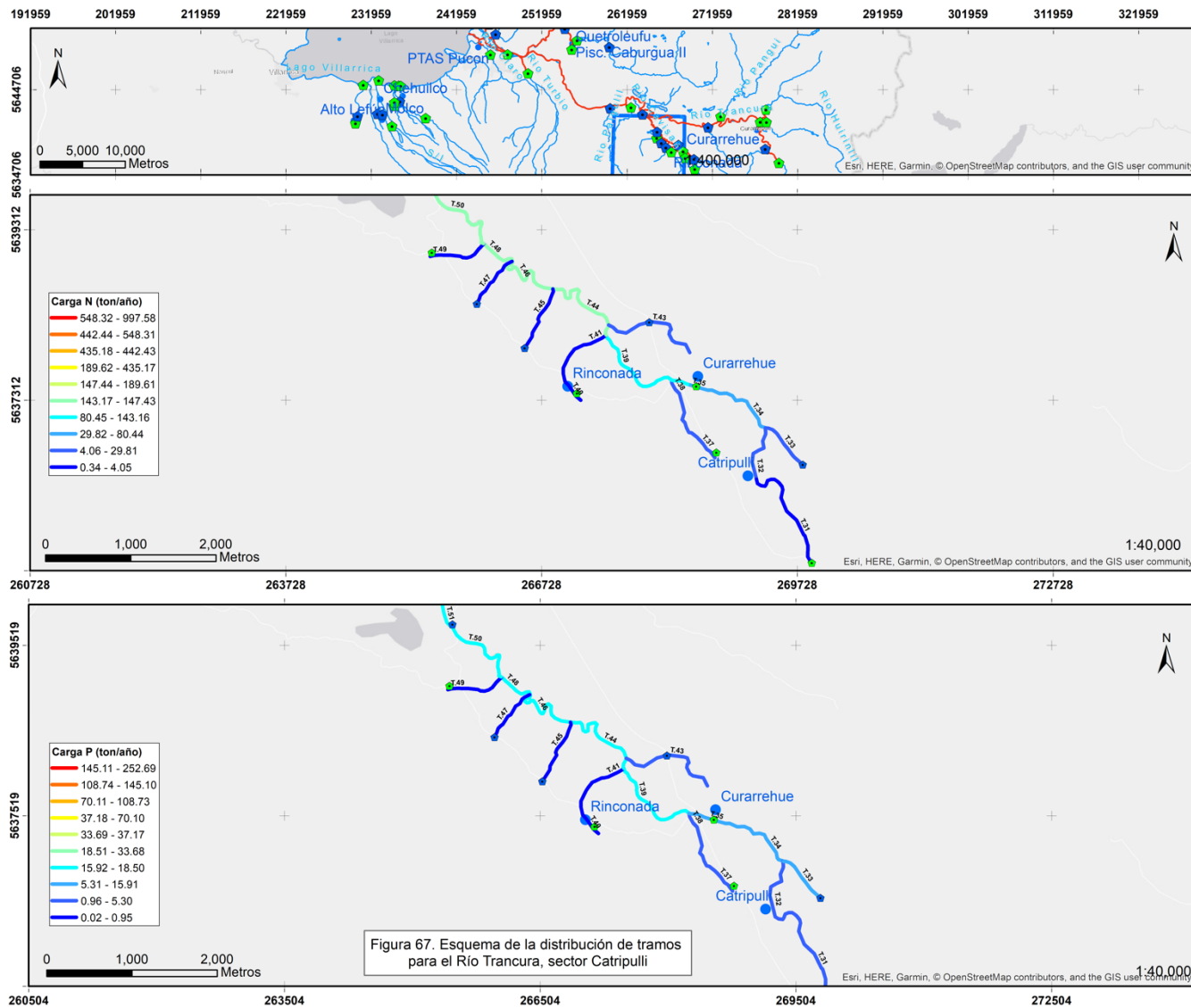



Figura 67. Esquema de la distribución de tramos para el Río Trancura, sector Catripulli

M.5 Río Trancura
Carga Anual de Nutrientes
Zona 4, Catripulli
Novena Región

Leyenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.5. Río Trancura
- Red hídrica
- ▭ Zonificación

Proyección Cartográfica
 Universal Transversal Mercator UTM
 Proyección Geodésica
 Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
 Centro de Gestión y Tecnologías del Agua
 Mandante:

 Ministerio del Medio Ambiente
 Gobierno de Chile

Figura 67. Esquema de la distribución de tramos para el Río Trancura

ESCENARIO 1: Valores <math><LD=0</math>

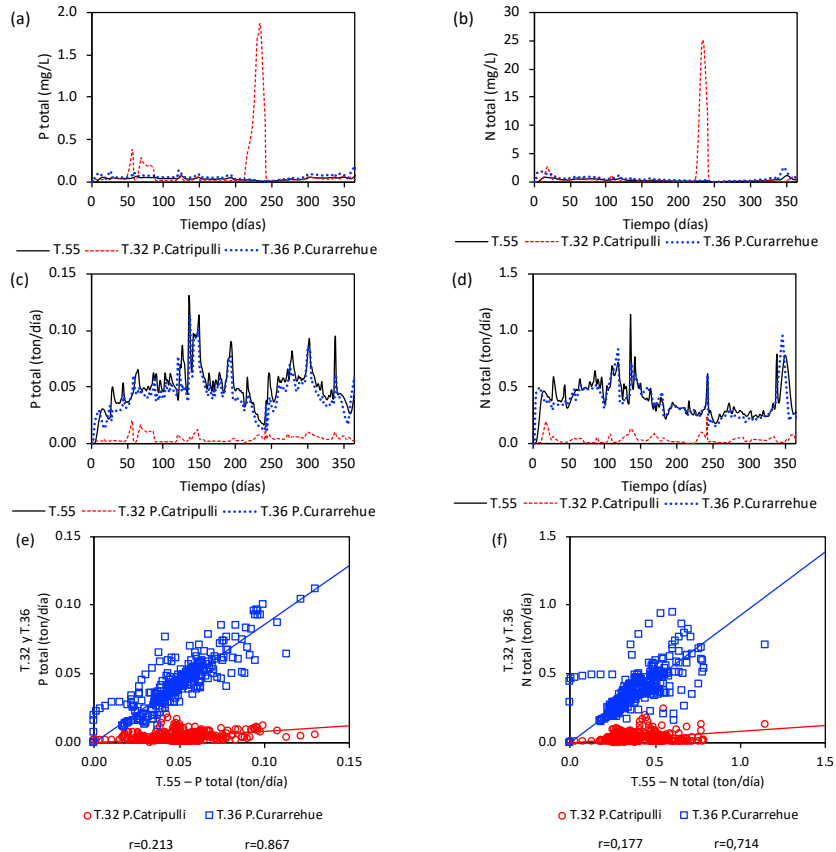


Figura 68. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes en Cavisañi. Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.32 (P. Catripulli) y tramo T.36 (P. Curarrehue): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

ESCENARIO 2: Valores <math><LD=50\%</math>

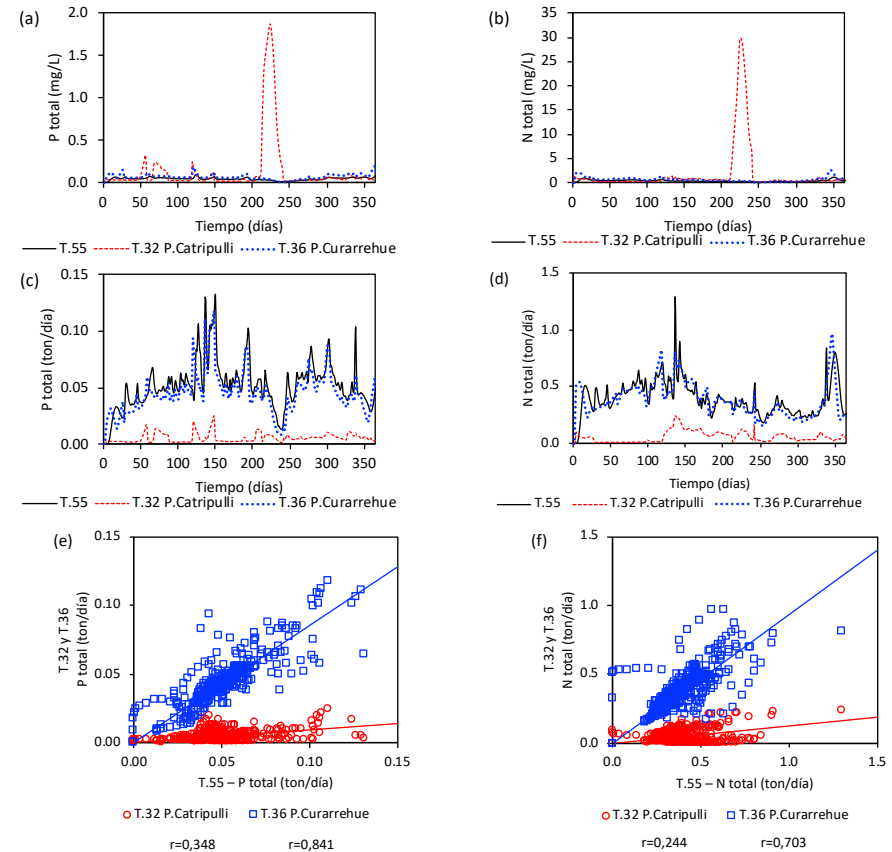


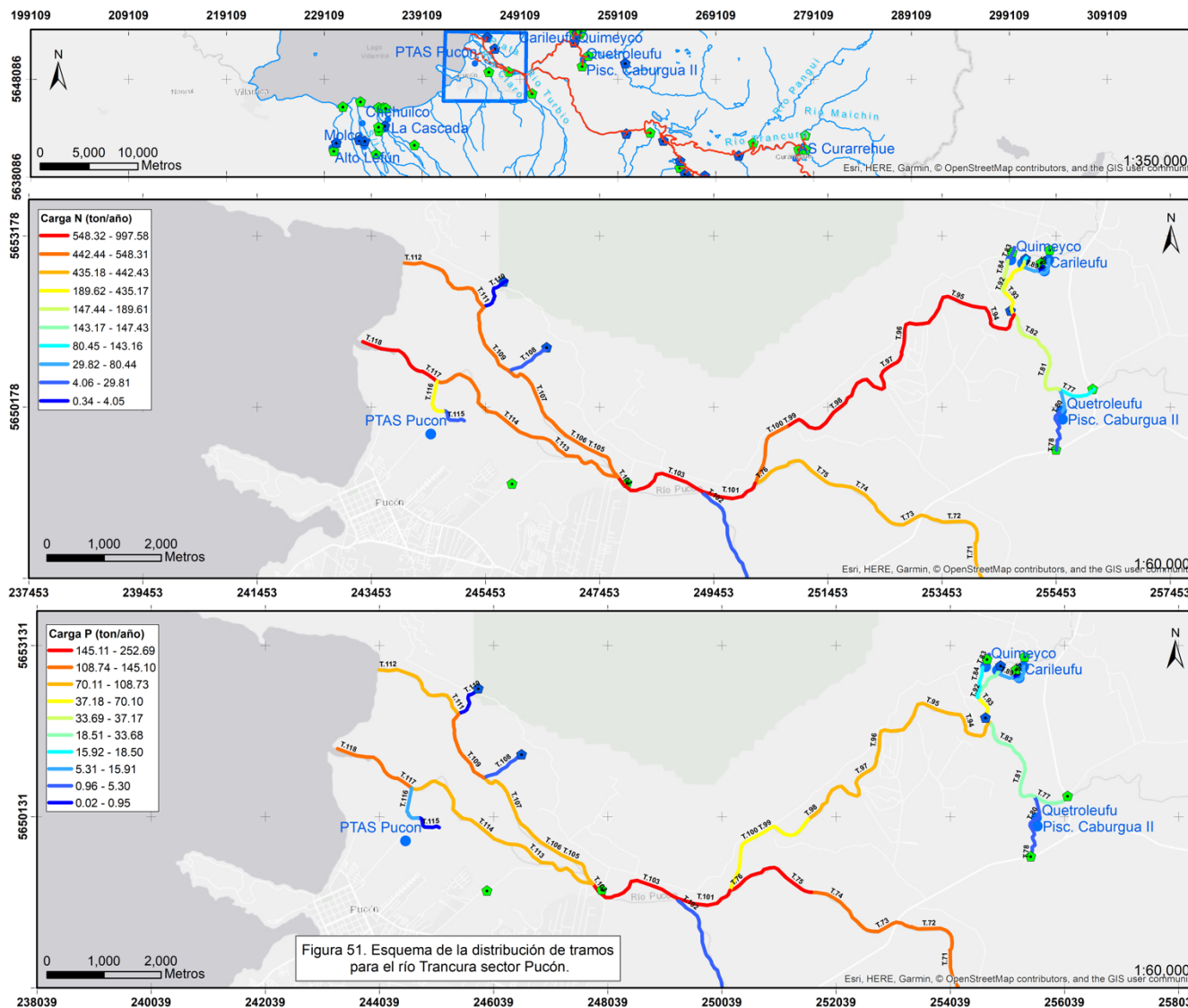
Figura 69. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes en Cavisañi. Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo T.32 (P. Catripulli) y tramo T.36 (P. Curarrehue): (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



Finalmente, en la descarga al Lago (ver Figura 51, Figura 70 y Figura 71) es posible observar que el río Trancura se transforma en un delta, esto luego del tramo T.103. Para efectos prácticos de este estudio, se asumió que el río se divide en dos brazos con proporciones de caudal iguales (50% cada uno).

De esta manera, el brazo de río que va por el lado del cerro Chuquilcura corresponde a los tramos T.105 a T.112. Por otro lado, el brazo de río que va por el lado de Pucón corresponde a los tramos T.113, T.114, T.117 y T.118.

El brazo de río que va por Pucón recibe descargas de la PTAS Pucón de la empresa Aguas Araucanía, la intervención viene a través del tributario Río Claro, el cual descarga en el tramo T.116 del mismo río (esto según supuestos del modelo). Es posible observar que en términos de carga, el aporte declarado por PTAS Pucón parece ser menor en comparación con la carga de Nitrógeno y Fósforo que ya viene el río Trancura.



**M.5 Río Trancura
Carga Anual de Nutrientes
Zona 1, Delta Pucón
Novena Región**

Legenda

- Calidad
- Aforos
- Pisciculturas y PTAS
- M.5. Río Trancura
- Red hídrica
- Zonificación

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

Mandante:



Ministerio del Medio Ambiente
Gobierno de Chile

Repetición de Figura 51. Esquema de la distribución de tramos para el río Trancura sector Pucón.

ESCENARIO 1: Valores $\leq LD=0$

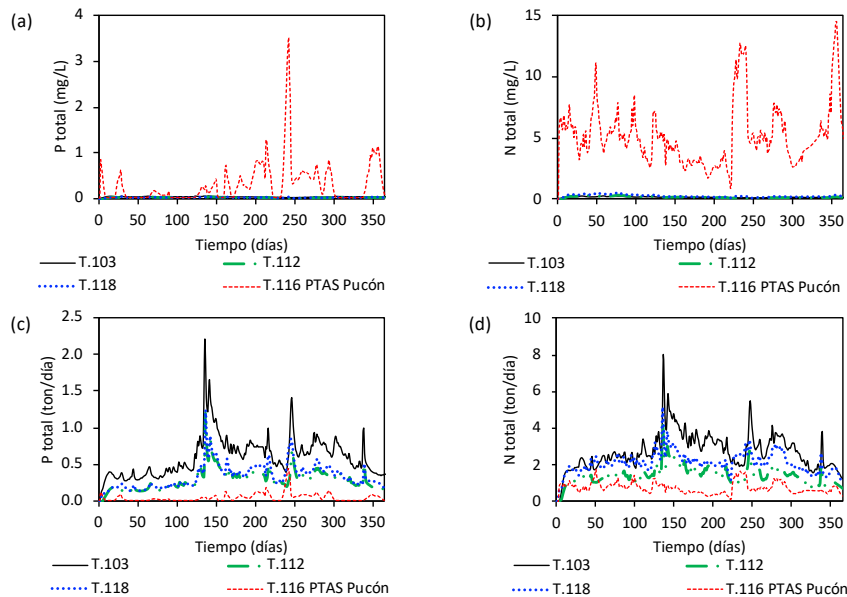


Figura 70. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes en río Trancura, zona de descarga al Lago Villarrica (Delta). Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno. Carga (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total.

ESCENARIO 2: Valores $\leq LD=50\%$

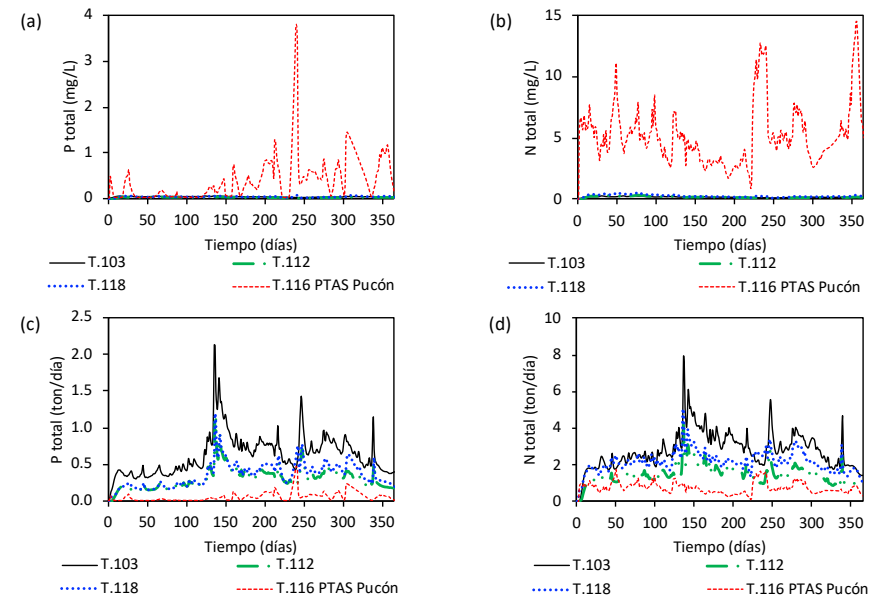


Figura 71. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes en río Trancura, zona de descarga al Lago Villarrica (Delta). Concentración (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno. Carga (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total.

6.2.6 Resumen de emisiones por Fuente Puntual (Escenarios 1 y 2)

La Figura 72 presenta un resumen del aporte de Fósforo Total de cada una de las fuentes puntuales consideradas en este estudio para el Escenario 1 y 2, y la Figura 73 un resumen del aporte de Nitrógeno Total para las mismas fuentes. La Tabla 46 y Tabla 47 presentan los valores de las emisiones registradas en carga para Fósforo y Nitrógeno Total respectivamente, diferenciados por cada escenarios propuesto.

De la Figura 72 se desprende que las mayores emisiones de Fósforo proveniente de fuentes puntuales, para el Escenario 1, se asociarían principalmente a las pisciculturas Molco, Loncocontraro, Caburgua II, Curarrehue, Catripulli y a las Aguas Servidas de Curarrehue y la PTS Pucón, ya en el Escenario 2, las mismas fuente se repiten, pero la piscicultura Quimeyco llama la atención con una emisión por sobre las 4 ton/año, esto se debe a que, para el caso del fósforo, Quimeyco reporta una gran cantidad de datos bajo el límite de detección analítico.

Respecto del Nitrógeno Total, la Figura 73 presenta las emisiones de cada fuente puntual tanto para el Escenario 1 y 2, entre ambos escenarios no se observan grandes diferencias.

En este mismo sentido, las fuentes puntuales con mayor emisión declarada de Nitrógeno Total corresponden a las pisciculturas Curarrehue, Caburgua II y Catripulli.

Es importante recordar, que tanto para el Fósforo Total como para el Nitrógeno Total, y en ambos escenarios evaluados, a cada piscicultura se les restó la carga de nutrientes que trae el río previo a su ingreso a la planta, por lo que a cada emisión declarada se le ajustado su valor en función de esta resta.

Realizando un análisis por cada río y estero (ver Tabla 46 para Fósforo Total y Tabla 47 para Nitrógeno Total), en el estero Molco (M1) es la Piscicultura Molco la que muestra mayor responsabilidad en las emisiones de Fósforo (74% Esc.1 – 68.5% Esc.2) y Nitrógeno (70.7% Esc.1 y 2), esto respecto de la carga total de M1. Para el caso del estero Loncocontraro (M2) la Piscicultura Loncocontraro sería la mayor responsable de las emisiones totales de Fósforo (61.3% Esc.1 – 56.2% Esc.2) y Nitrógeno (66.9% Esc.1 – 51.0% Esc.2). En el Estero Correntoso (M3), la Piscicultura la Castada aportaría con las emisiones totales de Fósforo (9.0% Esc.1 y 2) y Nitrógeno (26.7% Esc.1 y 2). En Estero Los Chilcos (M4) las responsabilidades de la Carga estarían compartida casi por partes iguales entre las pisciculturas Los Chilcos y Loncocontraro. Finalmente, para el Río Trancura (M5), y para el caso del Fósforo Total, Escenario 1 y 2, las pisciculturas CaburguaII (1.5% Esc.1 – 1.27% Esc.2), Curarrehue (3.17% Esc.1 y 2), Catripulli (3.3% Esc.1 y 2) y a las Aguas Servidas de Curarrehue (2.1% Esc.1 – 1.98% Esc.2) y la PTS Pucón (1.19% Esc.1 – 1.12% Esc.2) serían las mayores responsables de las emisiones registradas en el Río Trancura.

Respecto del Nitrógeno Total, la distribución correspondería para los Escenarios 1 y 2, a las pisciculturas CaburguaII (6.89% Esc.1 – 6.74% Esc.2), Curarrehue (9.80% Esc.1 y 9.59%

Esc.2), Catripulli (6.28% Esc.1 y 6.14% Esc.2) y a las Aguas Servidas de Curarrehue (1.79% Esc.1 – 1.75% Esc.2) y la PTS Pucón (2.42% Esc.1 – 2.37% Esc.2).

Emisiones de Fósforo, Escenarios 1 y 2.

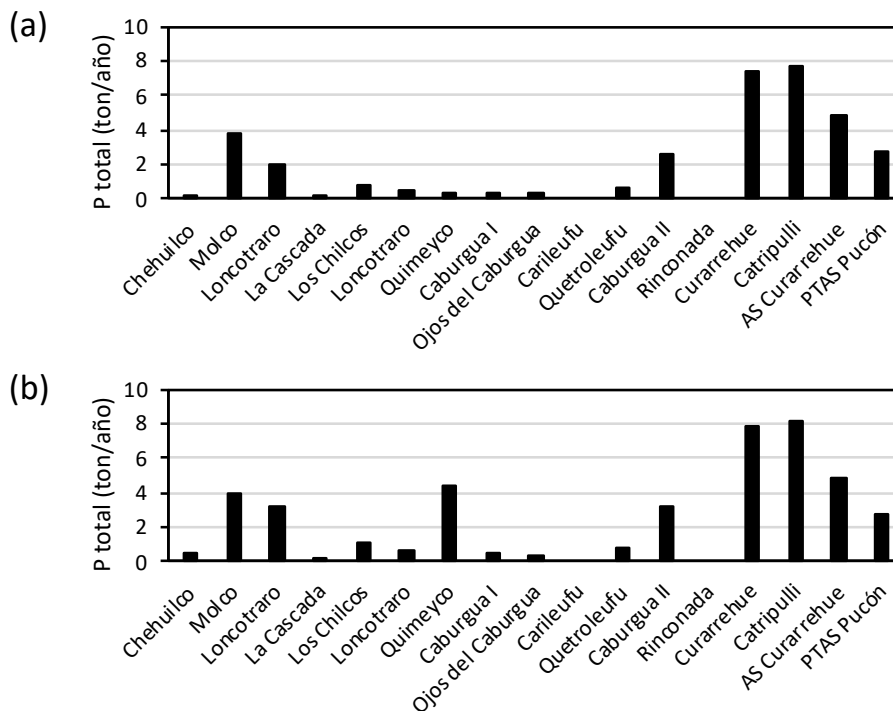


Figura 72. Emisiones de fuentes puntuales en carga, ton/año para Fósforo (a) Escenario 1: Valores <LD=0 y (b) Escenario 2: Valores <LD=50%.

Emisiones de Nitrógeno, Escenarios 1 y 2.

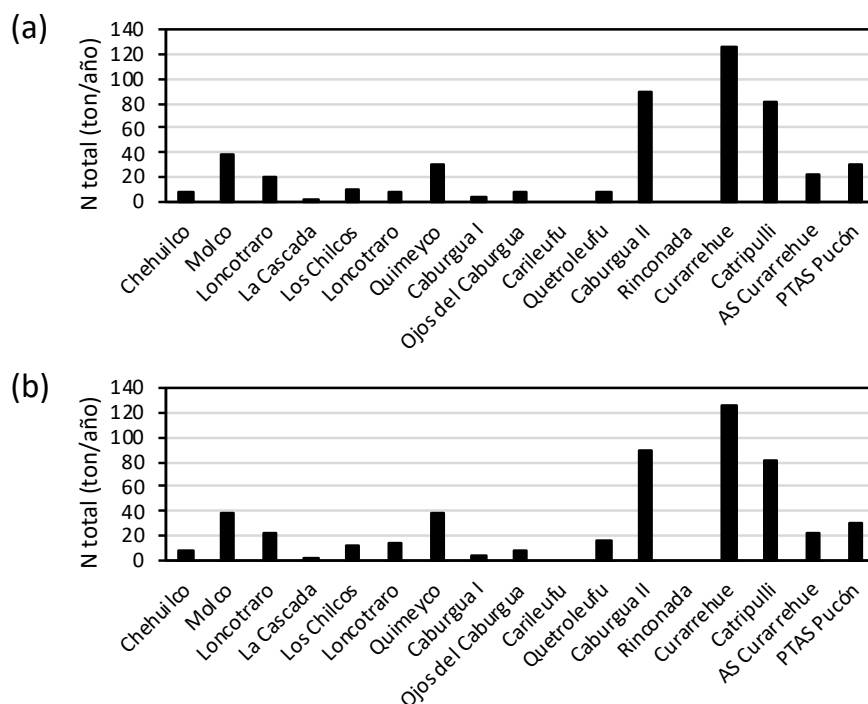


Figura 73. Emisiones de fuentes puntuales en carga, ton/año para Nitrógeno (a) Escenario 1: Valores <LD=0 y (b) Escenario 2: Valores <LD=50%.

Tabla 46. Distribución de la participación en las emisiones de Fósforo Total.

Clasificación	Nombre del estero	Nombre Piscicultura	Escenario 1 (P-total)					Escenario 2 (P-total)				
			Pisciculturas/AS/PTAS		Fuentes Difusas		TOTAL río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS		Fuentes Difusas		TOTAL río/estero
			ton/año	%	ton/año	%	ton/año	ton/año	%	ton/año	%	ton/año
M1	Estero Molco	Chehuilco	0.08	1.53	1.28	24.47	5.23	0.57	9.74	1.27	21.71	5.85
		Molco	3.87	74.00				4.01	68.55			
M2	Estero Loncotraro	Loncotraro	2.62	62.09	1.60	37.91	4.22	3.15	56.25	2.45	43.75	5.60
M3	Estero Correntoso	La Cascada	0.17	9.04	1.71	90.96	1.88	0.17	9.04	1.71	90.96	1.88
M4	Estero Los Chilcos	Los Chilcos	1.05	33.33	1.56	49.52	3.15	1.14	33.73	1.54	45.56	3.38
		Loncotraro	0.54	17.14				0.70	20.71			
M5	Río Trancura	Quimeyco	0.32	0.14	205.00	88.27	232.25	4.39	1.78	213.95	86.71	246.74
		Caburgua I	0.41	0.18				0.44	0.18			
		Ojos del Caburgua	0.39	0.17				0.39	0.16			
		Carileufu	0,0	0.00				0,0	0.00			
		Quetroleufu	0.70	0.30				0.86	0.35			
		Caburgua II	2.68	1.15				3.14	1.27			
		Rinconada	0,0	0.00				0,0	0.00			
		Curarrehue	7.37	3.17				7.82	3.17			
		Catipulli	7.74	3.33				8.11	3.29			
		AS Curarrehue	4.88	2.10				4.88	1.98			
PTAS Pucón	2.76	1.19	2.76	1.12								

Tabla 47. Distribución de la participación en las emisiones de **Nitrógeno Total**.

Clasificación	Nombre del estero	Nombre Piscicultura	Escenario 1 (N-total)					Escenario 2 (N-total)				
			Pisciculturas/AS/PTAS		Fuentes Difusas		TOTAL río/estero	Pisciculturas/AS/PTAS		Fuentes Difusas		TOTAL río/estero
			ton/año	%	ton/año	%	ton/año	ton/año	%	ton/año	%	ton/año
M1	Estero Molco	Cheuilco	8.54	15.59	7.47	13.64	54.77	8.54	15.59	7.47	13.64	54.77
		Molco	38.76	70.77				38.76	70.77			
M2	Estero Loncotraro	Loncotraro	28.45	66.97	12.29	28.93	42.48	22.93	51.00	22.03	49.00	44.96
M3	Estero Correntoso	La Cascada	3.08	26.71	8.45	73.29	11.53	3.08	26.57	8.51	73.43	11.59
M4	Estero Los Chilcos	Los Chilcos	13.28	52.64	3.66	14.51	25.23	13.35	40.84	5.68	17.38	32.69
		Loncotraro	8.38	33.21				13.66	41.79			
M5	Río Trancura	Quimeyco	30.98	2.40	888.38	68.76	1292.00	38.71	2.93	900.13	68.15	1320.73
		Caburgua I	5.09	0.39				5.09	0.39			
		Ojos del Caburgua	8.79	0.68				8.79	0.67			
		Carileufu	0.00	0.00				0.00	0.00			
		Qetroleufu	7.57	0.59				16.82	1.27			
		Caburgua II	89.00	6.89				89.00	6.74			
		Rinconada	0.00	0.00				0.00	0.00			
		Curarrehue	126.68	9.80				126.68	9.59			
		Catripulli	81.11	6.28				81.11	6.14			
AS Curarrehue	23.10	1.79	23.10	1.75								
PTAS Pucón	31.30	2.42	31.30	2.37								

6.3 Modelo de nutrientes en cuenca del Lago Villarrica (N-SPECT)

Para la estimación del aporte difuso en la cuenca del Lago Villarrica se recurrió a una modelación utilizando el Software N-SPECT y a la validación de este utilizando el punto de control M5 en puente Quelhue, según los cálculos y estimaciones realizadas mediante modelación matemática utilizando el Software WASP 8.

La Tabla 48 presenta una comparación de la superficie estimada en cada uno de los estudios realizado a la fecha en la cuenca por MMA-UACH (2009 y MMA-UCT (2012). Además se incorpora a la comparación los usos de suelo utilizados en este estudio, correspondientes a la cobertura de usos de suelo más actualizada en formato raster “Land Cover Chile 2014” (Zhao et al., 2016). La Figura 74 presenta un resumen gráfico comparativo entre las coberturas utilizadas en los estudios antes mencionados.

Tabla 48: Detalle de las coberturas de usos de suelo (ha y %) en la cuenca del Lago Villarrica.

Uso de suelo	UACH (2009)		UCT (2012)		Land Cover Chile (2014)	
	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)	Superficie (ha)	Superficie (%)
Agua	23457	8.00%	7356	3.00%	23202	8.10%
Bosque nativo	93258	31.80%	107503	43.50%	44858	15.60%
Matorral	21031	7.20%	20302	8.20%	36883	12.80%
Nieve	11130	3.80%	5502	2.20%	1127	0.40%
Plantaciones exóticas	4079	1.40%	1873	0.80%	4890	1.70%
Pradera (pastizal)	44955	15.30%	25961	10.50%	36401	12.70%
Suelo desnudo	11166	3.80%	14790	6.00%	12000	4.20%
Renoval	69706	23.80%	63033	25.50%	126950	44.20%
Agrícola	20	0.00%	69	0.10%	598	0.20%
Urbano	14098	4.80%	604	0.20%	350	0.10%
TOTAL	292900	100.00%	246993	100.00%	287259	100.00%

Fuente: la información fue extraída de (MMA-UACH, 2009), (MMA-UCT, 2012) y (Zhao et al., 2016).

La Tabla 49 y la Figura 75 presentan un resumen comparativo entre las estimaciones realizadas por MMA-UACH (2009) y MMA-UCT (2012). De acuerdo a MMA-UACH (2009) la mayor carga de Nitrógeno y Fósforo Total (ton/año) provendría de Maichín, Palguín, Trancura, Caburgua y Liucura en ambos casos. Por otro lado, para MMA-UCT (2012), los aportes vendrían mayoritariamente de Maichín, Caburgua y Pucón (hay que considerar que en este estudio sólo se modelaron las subcuencas de la cabecera de la cuenca del Lago Villarrica).

De acuerdo al presente estudio, respecto del aporte de Fósforo Total, las subcuencas con mayor aporte (de mayor a menor) serían: Maichin, Trancura, Caburgua, Pucón y Palguin. Por otro lado, para el Nitrógeno Total, las subcuencas con mayor aporte (de mayor a menor) serían: Maichín, Trancura, Caburgua y Pucón.



De acuerdo a la sumatoria de aportes totales (ver Figura 76), los resultados del presente estudio reportan menores valores para el Nitrógeno y Fósforo Total en comparación a lo reportado por MMA-UACH (2009) y MMA-UCT (2012). Respecto del cálculo realizado por MMA-UACH (2009), el presente estudio reportaría una carga de 531.14 ton/año de Nitrógeno Total mientras que MMA-UACH 2009 900.74 ton/año y 173.89 ton/año de Fósforo Total, mientras que MMA-UACH 320.88 ton/año, ver Tabla 49. Por otro lado, sólo considerando las subcuencas estudiadas por MMA-UCT (2012), los resultados obtenidos por el presente estudio mostrarían diferencias en los aportes de Nitrógeno y Fósforo total, siendo para Nitrógeno Total 627.81 ton/año en MMA-UCT (2012) y 499.88 ton/año para el presente estudio, y en el caso del Fósforo Total 209.3 ton/año MMA-UCT (2012) y 161.90 ton/año en el presente estudio.

Por otro lado, el mayor aporte de Nitrógeno provendría de la cobertura Pradera (37.5%), seguida de Renoval (31.2%) y Matorral (23.2%).

Respecto del Fósforo, este provendría principalmente de las coberturas Renoval (31.1%), Matorral (24.0%), "Pradera" (22.65%) y Plantaciones Exóticas (14.4%). Es importante recordar que estos aportes estarían asociados al número de hectáreas de cada uso en la cuenca estudiada.

Finalmente, la Figura 78 cobertura de usos de suelo utilizadas en el presente estudio para la modelación con N-SPECT. De esta forma, la Figura 79 presenta el resultado de la modelación de la carga de Nitrógeno en ton/año y la Figura 80 la carga de Fósforo en ton/año.

Por último la Figura 81 y Figura 82 muestran la concentración de Nitrógeno y Fósforo en mg/L respectivamente.

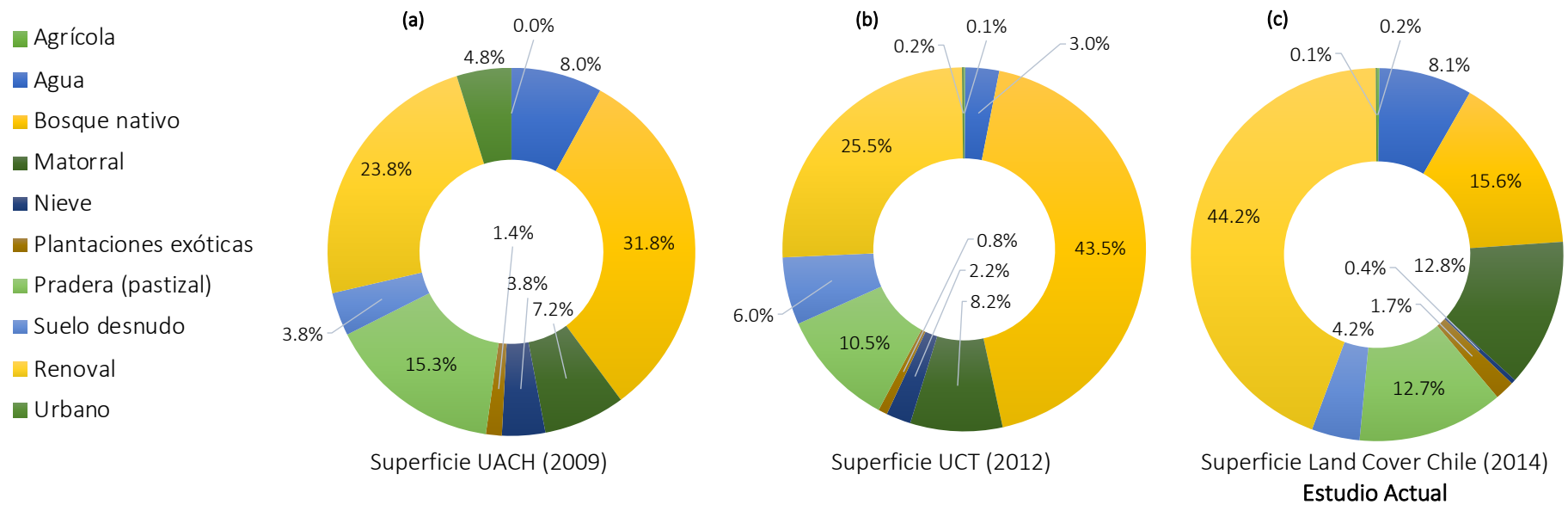


Figura 74: Comparativa de superficies (%) según (a) MMA-UACH (2009), (b) MMA-UCT (2012) y (c) Zhao et al., (2016).

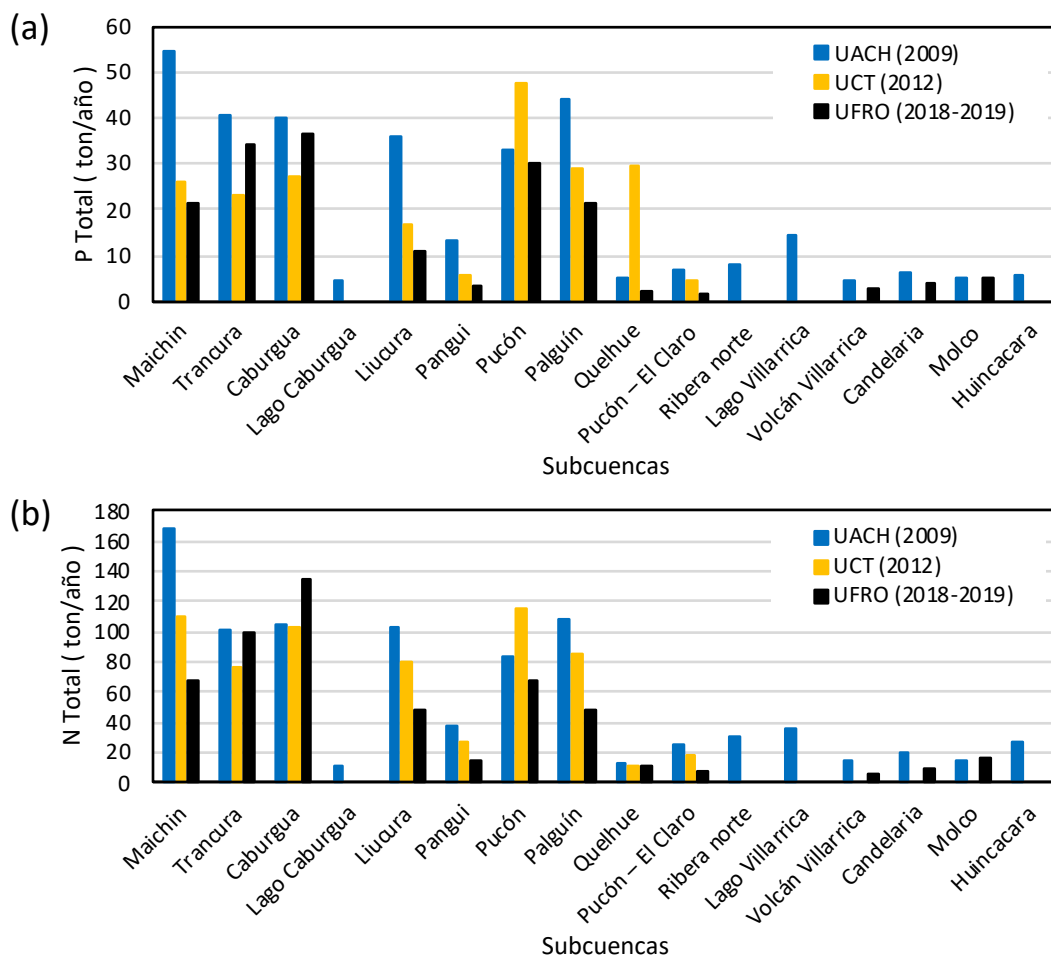


Figura 75: Resumen comparativo de los aportes de (a) Fósforo y (b) Nitrógeno por subcuenca desde fuentes difusas.

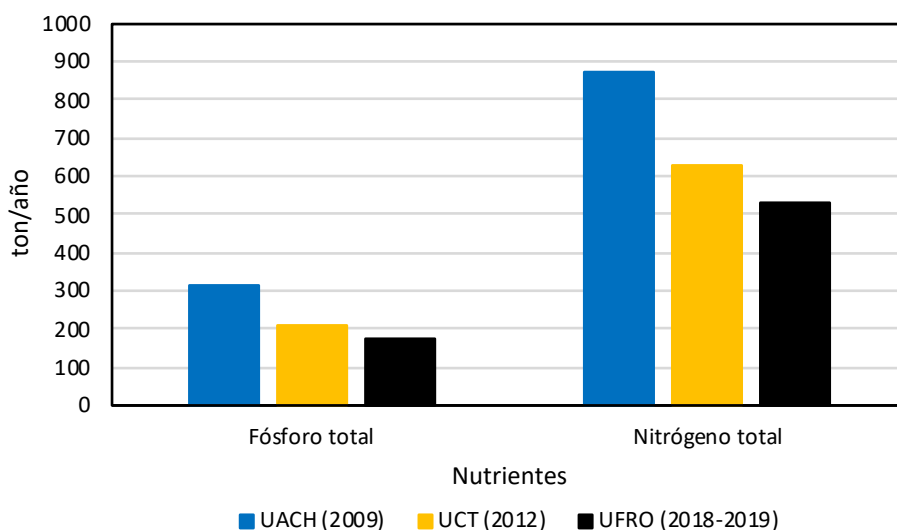


Figura 76: Resumen comparativo de resultados del cálculo de aporte fuentes difusas según MMA-UACH (2009), MMA-UCT (2012) y UFRO (2018-2019).

Tabla 49: Aporte anual (ton/año) según las 14 subcuencas de la cuenca del Lago Villarrica.

Subcuencas	UACH (2009)		UCT (2012)		UFRO (2018-2019)	
	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)
Maichin	168.53	54.27	110.26	26.02	67.09	21.27
Trancura	101.84	40.6	76.14	23.2	99.48	34.31
Caburgua	104.32	39.77	103.22	27.36	135.41	36.20
Lago Caburgua	10.49	4.25	-	-		
Liucura	103.86	35.65	80.39	16.81	48.77	11.15
Pangui	37.77	13.14	27.53	5.61	15.19	3.46
Pucón	83.7	32.94	115.23	47.42	68.15	29.86
Palguín	108.94	44.25	86.12	29.12	47.98	21.57
Quelhue	12.89	5.22	10.44	29.5	10.62	2.42
Pucón – El Claro	25.13	6.74	18.48	4.26	7.19	1.65
Ribera norte	29.97	7.69	-	-	N/A	N/A
Lago Villarrica	35.78	14.49	-	-		
Volcán Villarrica	15.03	4.76	-	-	5.58	2.88
Candelaria	20.56	6.46	-	-	9.62	3.76
Molco	15.44	4.96	-	-	16.06	5.35
Huincacara	26.49	5.69	-	-	N/A	N/A
TOTAL	900.74	320.88	627.81	209.30	531.14	173.89



- Bosque nativo
- Matorral
- Nieve
- Plantaciones exóticas
- Pradera (pastizal)
- Suelo desnudo
- Renoval
- Agrícola
- Urbano

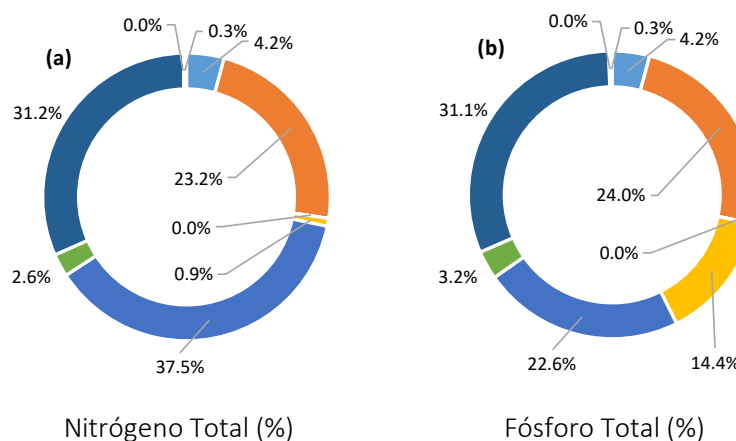


Figura 77: Resumen comparativo de los aportes de (a) Nitrógeno Total y (b) Fósforo Total por cada uso de suelo.

Tabla 50: Cantidad de nutrientes (ton/año, ton/año/ha y %) según coberturas de uso de suelo (Zhao et al., 2016) en N-SPECT.

Uso de suelo	LAND COVER CHILE (2014)		UFRO (2018-2019)					
	Superficie (ha)	Superficie (%)	NT (ton/año)	NT (ton/año/ha)	NT (%)	PT (ton/año)	PT (ton/año/ha)	PT (%)
Agua	23202	8.08%	-	-	-	-	-	-
Bosque nativo	44858	15.62%	37067	0.83	4.2%	12347	0.28	4.2%
Matorral	36883	12.84%	203514	5.52	23.2%	70636	1.92	24.0%
Nieve	1127	0.39%	123	0.11	0.0%	64	0.06	0.0%
Plantaciones exóticas	4890	1.70%	7596	1.55	0.9%	42363	8.66	14.4%
Pradera (pastizal)	36401	12.67%	329703	9.06	37.5%	66643	1.83	22.6%
Suelo desnudo	12000	4.18%	22660	1.89	2.6%	9516	0.79	3.2%
Renoval	126950	44.19%	274375	2.16	31.2%	91634	0.72	31.1%
Agrícola	598	0.21%	320	0.54	0.0%	91	0.15	0.0%
Urbano	350	0.12%	2755	7.86	0.3%	996	2.84	0.3%
TOTAL	287259	100.00%	878112	29.51	100%	294289	17.25	100%



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

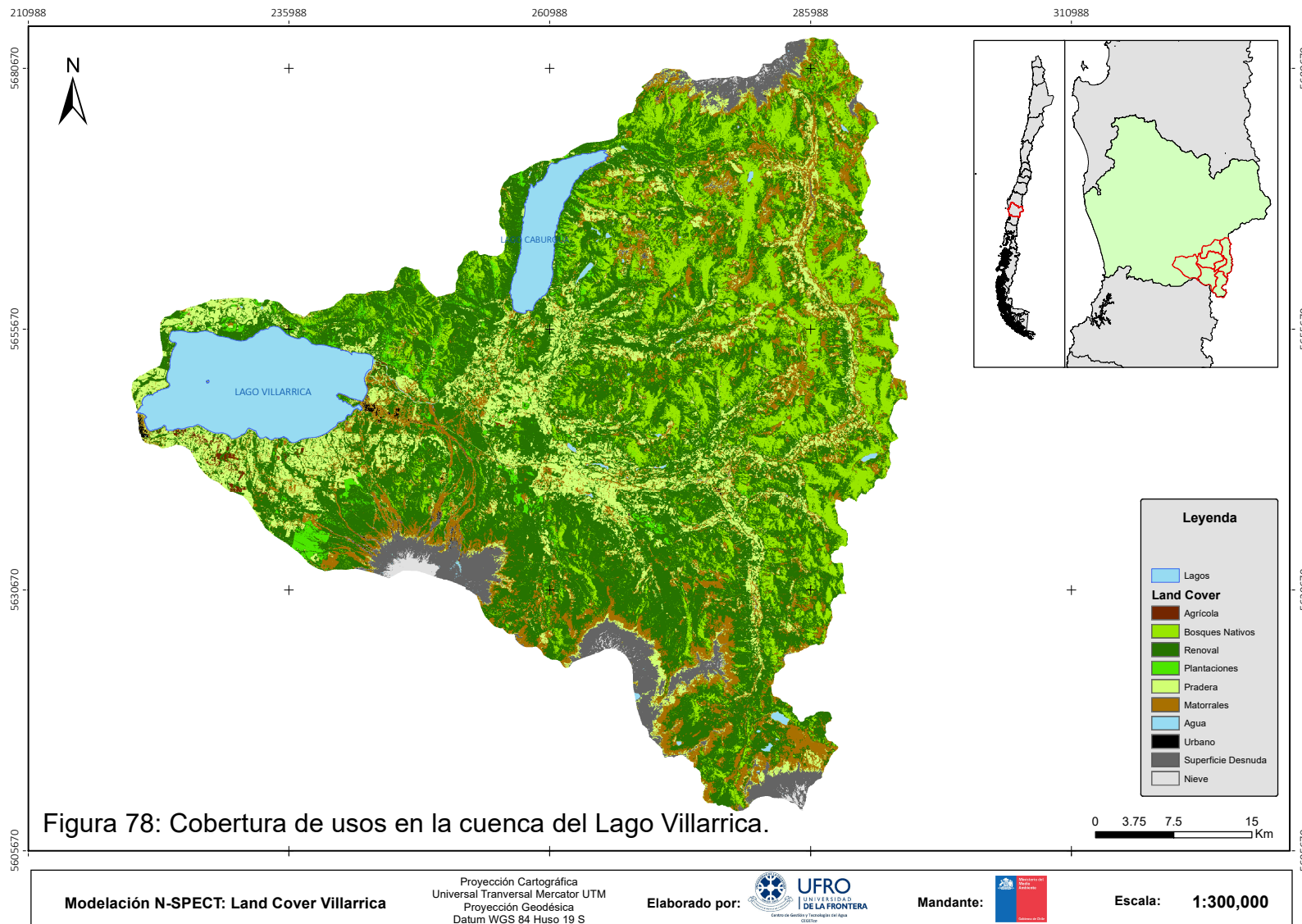


Figura 78.
Cobertura de
usos en la
cuenca del
Lago Villarrica.



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

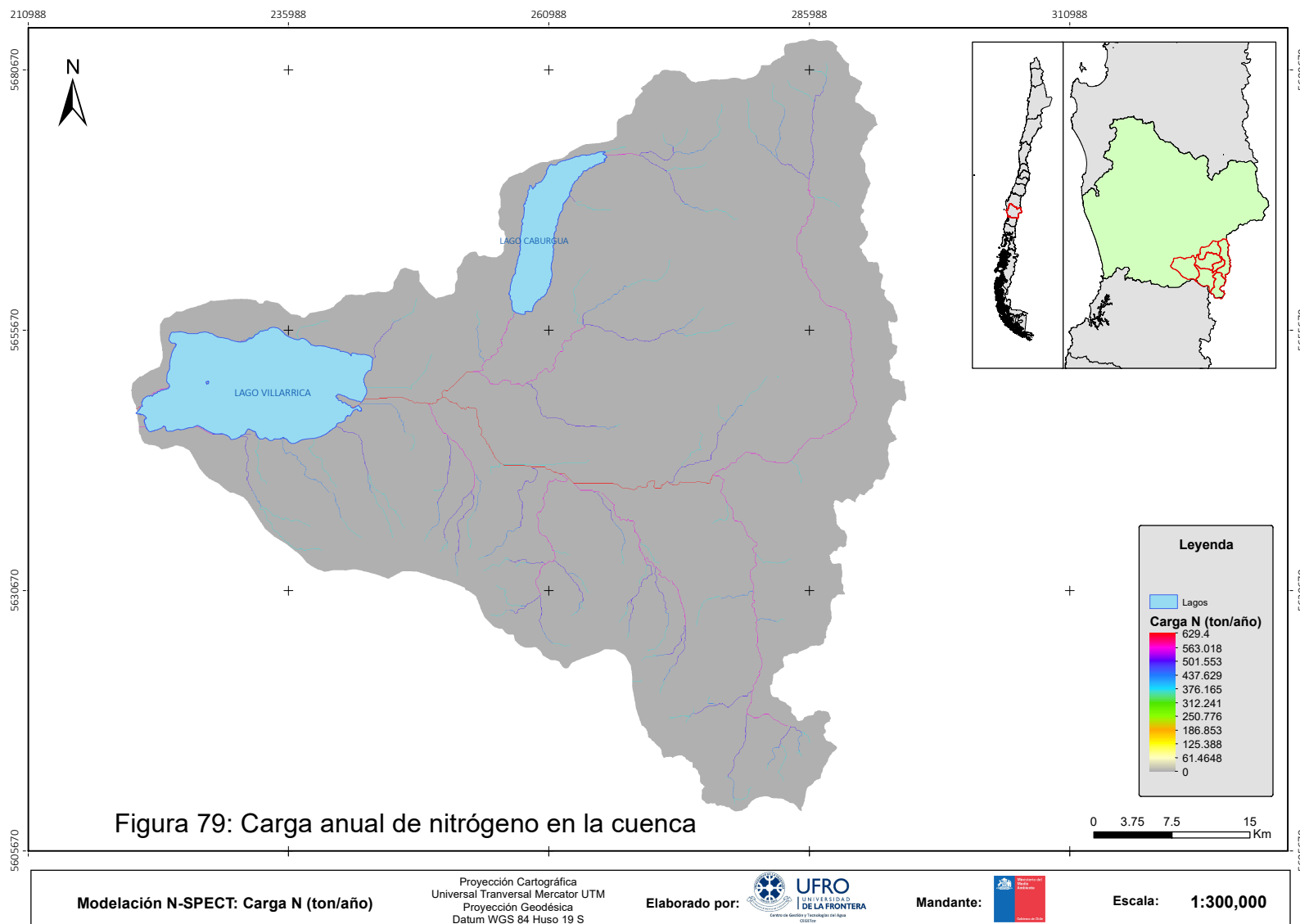


Figura 79.
Carga anual de nitrógeno en la cuenca del Lago Villarrica.



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

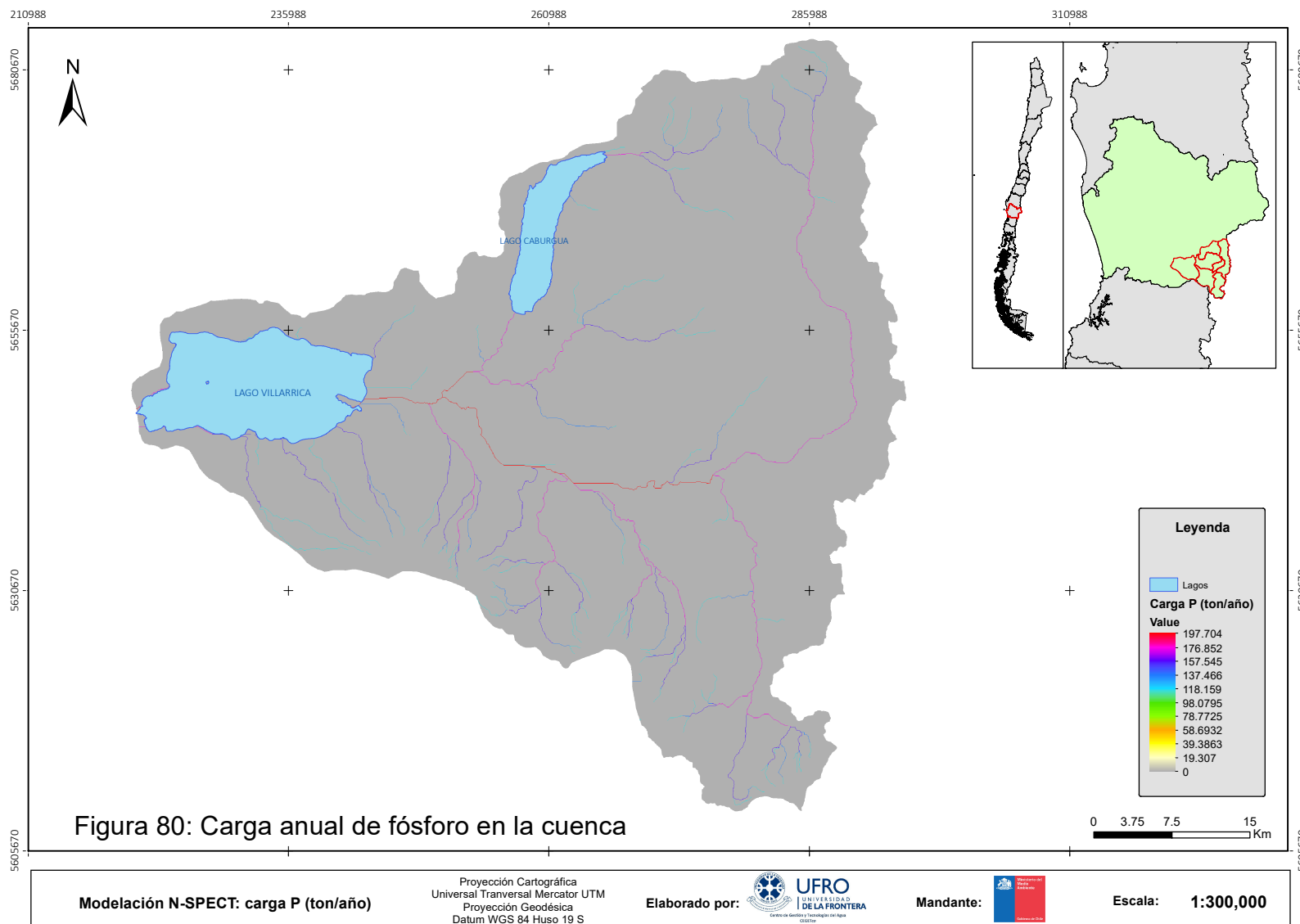


Figura 80.
Carga anual
de Fósforo
en la Cuenca
del Lago
Villarrica.



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

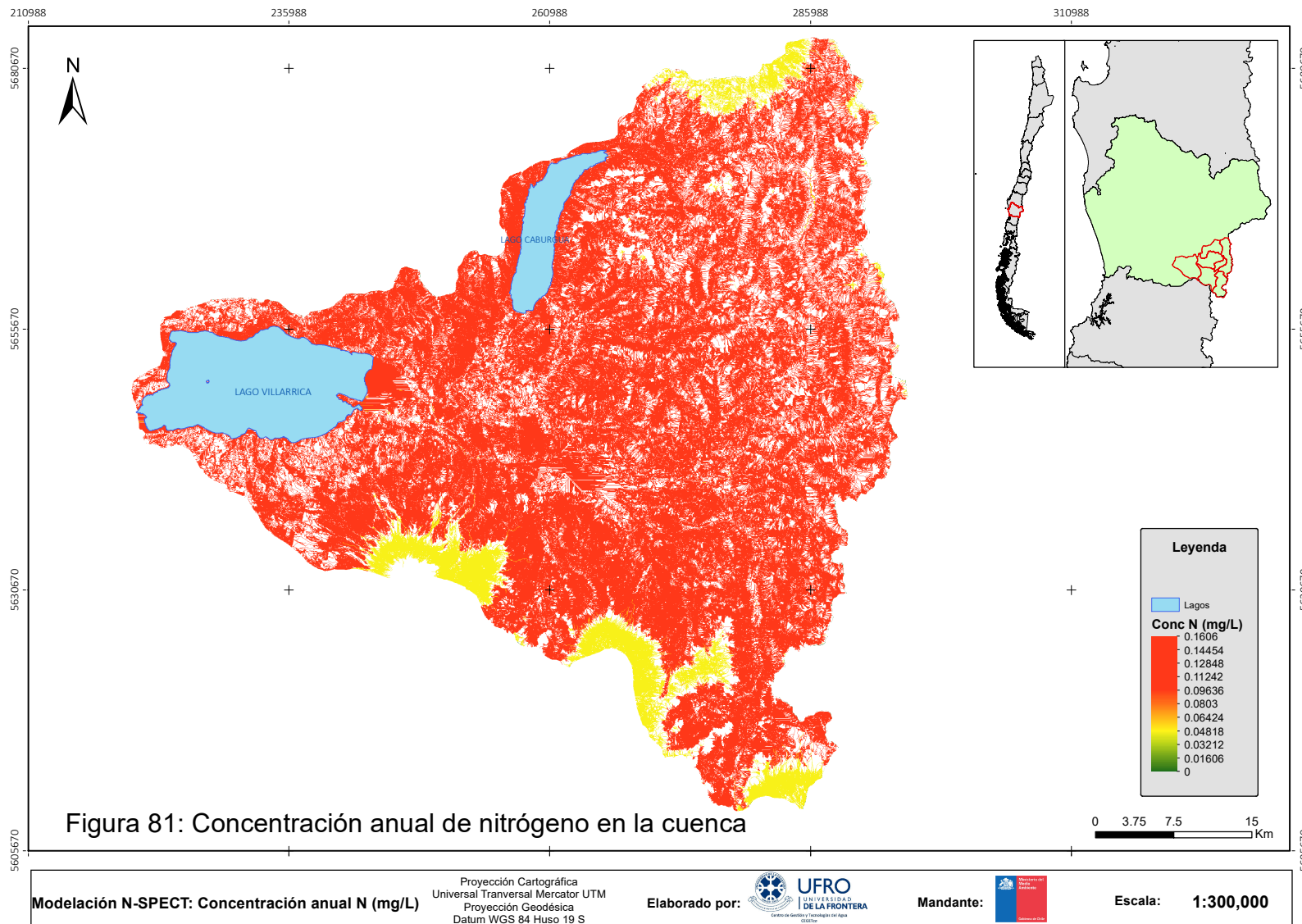


Figura 81.
Concentración
de Nitrógeno
en la cuenca
del Lago
Villarrica.



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

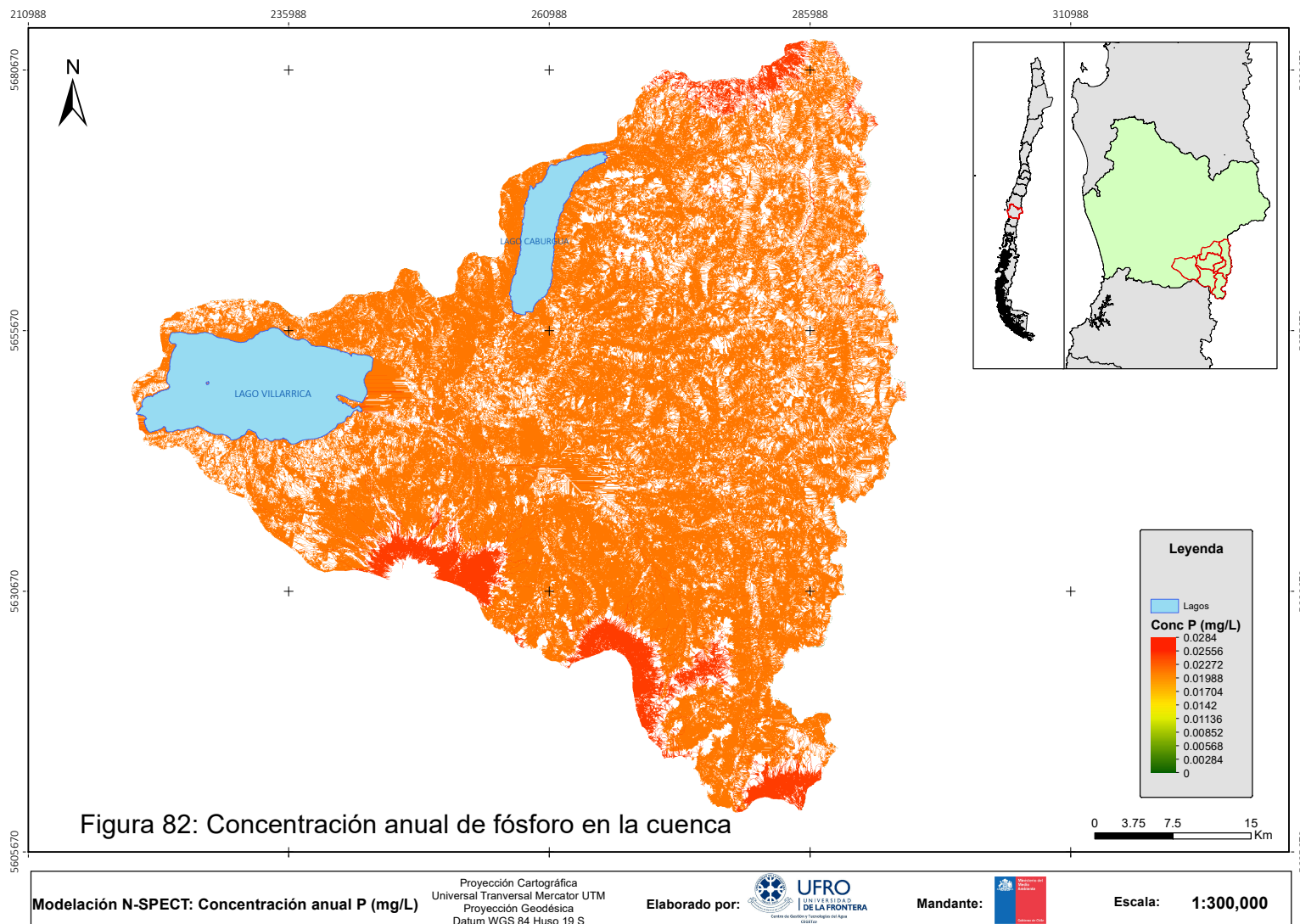


Figura 82.
Concentración
de Fósforo en
la cuenca
del Lago
Villarrica.

6.4 Diferencias encontradas en los aportes difusos modelados (WASP y N-SPECT)

Existen diferencias entre los resultados modelados con WASP y N-SPECT relativos a los aportes desde fuentes difusas la Tabla 51 y Tabla 52 presentan las diferencias considerando los resultados obtenido por WASP bajo los supuestos del Escenario 1 y Escenario 2. Considerando que WASP modela el aporte proveniente de las fuentes puntuales, es posible realizar una estimación del aporte difuso por diferencia con las mediciones de terreno. Debido a que N-SPECT modeló únicamente los aportes provenientes de los usos de suelo, se consideran que las diferencias entre ambos pueden deberse a la existencia de otras fuentes difusas presentes en la cuenca y que no fueron incluidas en el modelamiento de N-SPECT.

Para el caso, el caso del Fósforo Total, de las modelaciones faltarían por explicar entre 37.26 y 46.14 ton/año, y en el caso del Nitrógeno, entre 389.11 y 403.89 ton/año.

En este sentido, los resultados obtenidos por la Mesa Técnica, organizada por el Ministerio del Medioambiente, permitió levantar nuevas fuentes, que, aun faltando más información detallada respecto a su comportamiento en el tiempo, permiten realizar una estimación aproximada de los aportes que podrían estar faltando en el cálculo. La Tabla 53 presenta un resumen de las nuevas fuentes difusas encontradas, y la Tabla 54 y Tabla 55 un nuevo cálculo de las diferencias (para el Escenario 1 y 2 de WASP). En estas últimas dos tablas es posible apreciar que, para el caso de Fósforo, la diferencia es negativa, lo que se debería a un sobre cálculo de los valores difusos obtenidos a partir de la información de la Mesa Técnica, y, por otro lado, el Nitrógeno muestra un acortamiento de la brecha existente entre lo reportado por WASP como difuso y lo calculado por N-SEPTC más la información de la Mesa Técnica.

A modo de aclaración, las nuevas fuentes puntuales encontradas por la Mesa Técnica no se consideran en este análisis debido a que ellas descargarían de forma directa al Lago Villarrica, por lo que no entrarían en el cálculo realizado por WASP.

Tabla 51. Diferencias encontradas en el cálculo de los aportes desde fuentes difusas según modelos WASP (Escenario 1) y N-SPECT.

Modelos	PT (ton/año)	NT (ton/año)
WASP (Escenario 1)	211.15	920.25
N-SPECT	173.89	531.14
Diferencia	37.26	389.11
Diferencia %	17.6%	42.3%

Tabla 52. Diferencias encontradas en el cálculo de los aportes desde fuentes difusas según modelos WASP (Escenario 2) y N-SPECT.

Modelos	PT (ton/año)	NT (ton/año)
WASP (Escenario 2)	220.03	935.03
N-SPECT	173.89	531.14
Diferencia	46.14	403.89
Diferencia %	20.9%	43.2%

Tabla 53. Resumen del inventario de emisiones para la cuenca del Lago Villarrica.

Tipo de Fuente	Fuente de información	Fuentes	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Difusa	Mesa Técnica (Aguas Araucanía)	Viviendas s/ alcantarillado (Villarrica y Pucón)	5.2	33.8
Difusa	INE (pre censo 2016)	Viviendas rurales	30.03	195.19
Difusa	MMA-UFRO (2018, Tabla 23, ley de Fick con base 100 años)	Fosas, hoteles y condominios bordelago (ribera sur)	24.72	120.61
Difusa	Mesa Técnica (M. Pucón)	Termas (Pucón) (*)	1.97	4.88
Difusa	Presente Estudio	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	173.9	531.1
TOTAL DIFUSO			235.82	885.58



Tabla 54. Diferencias encontradas en el cálculo de los aportes desde fuentes difusas Mesa Técnica más N-SPECT y (menos) WASP (Escenario 1).

Modelos+Info Mesa Tec.	PT (ton/año)	NT (ton/año)
WASP (Escenario 2)	211.15	920.25
Mesa Tec. + N-SPECT	235.82	885.58
Diferencia	-24.67	34.67
Diferencia %	-11.7%	3.7%

Tabla 55. Diferencias encontradas en el cálculo de los aportes desde fuentes difusas Mesa Técnica más N-SPECT y (menos) WASP (Escenario 2).

Modelos+Info Mesa Tec.	PT (ton/año)	NT (ton/año)
WASP (Escenario 2)	220.03	935.03
Mesa Tec. + N-SPECT	235.82	885.58
Diferencia	-15.79	49.45
Diferencia %	-7.1%	5.3%



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

RESUMEN DEL INVENTARIO DE EMISIONES

Compilación de principales resultados del levantamiento de datos y modelaciones matemáticas del estudio.



7. RESUMEN DE INVENTARIO DE EMISIONES

Un resumen de todas las fuentes de emisión levantadas en la cuenca del Lago Villarrica es presentada en la Tabla 56 para el Escenario 1 de WASP y Tabla 57 para el Escenario 2 de WASP.

Respecto del Fósforo Total, la Figura 83 muestra la distribución para ambos escenarios, donde se observa que el aporte difuso según lo modelado con N-SPECT correspondería entre el 61 y 62.8% del aporte total, a ello le seguirían las Pisciculturas (10.1–12.5%), Viviendas Rurales (10.5–10.8%) y Fosas, hoteles y Condominios de la ribera Sur del lago (8.7–8.9%).

Finalmente, la distribución de emisiones de Nitrógeno Total se presenta en la Figura 84, donde el aporte difuso calculado con N-SPECT correspondería a un rango del 36.1–36.8% de las emisiones totales, seguido de Pisciculturas (31.1–32.3%), Viviendas Rurales (13.3–13.5%) y Fosas, hoteles y Condominios de la ribera Sur del lago (8.2–8.4%).



Tabla 56. Resumen del inventario de emisiones para la cuenca del Lago Villarrica (con WASP Escenario 1).

Tipo de Fuente	Fuente de información	Fuentes	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Difusa	Mesa Técnica (Aguas Araucanía)	Viviendas s/ alcantarillado (Villarrica y Pucón)	5.2	33.8
Difusa	INE (pre censo 2016)	Viviendas rurales	30.03	195.19
Difusa	MMA-UFRO (2018, Tabla 23, ley de Fick con base 100 años)	Fosas, hoteles y condominios bordelago (ribera sur)	24.72	120.61
Difusa	Mesa Técnica (M. Pucón)	Termas (Pucón) (*)	1.97	4.88
Difusa	Presente Estudio	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	173.9	531.1
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Colector O'Higgins (*)	2.48	5.66
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Puente Carmelito (*)	0.05	0.01
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Puente Candelaria (*)	1.58	1.91
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Frente PUCV	0.03	1.77
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Castillo, Zona norte	0.31	8.7
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Sector Carmelito	1.05	16.52
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Estero Carmelito	0.29	5.42
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Costanera Villarrica	0.16	16.24
Puntual	Presente Estudio	AS Curarrehue	4.88	23.1
Puntual	Presente Estudio	PTAS Pucón	2.76	31.3
Puntual	Presente Estudio	Pisciculturas (Escenario 1)	27.94	449.71
TOTAL			277.34	1445.96

NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total.

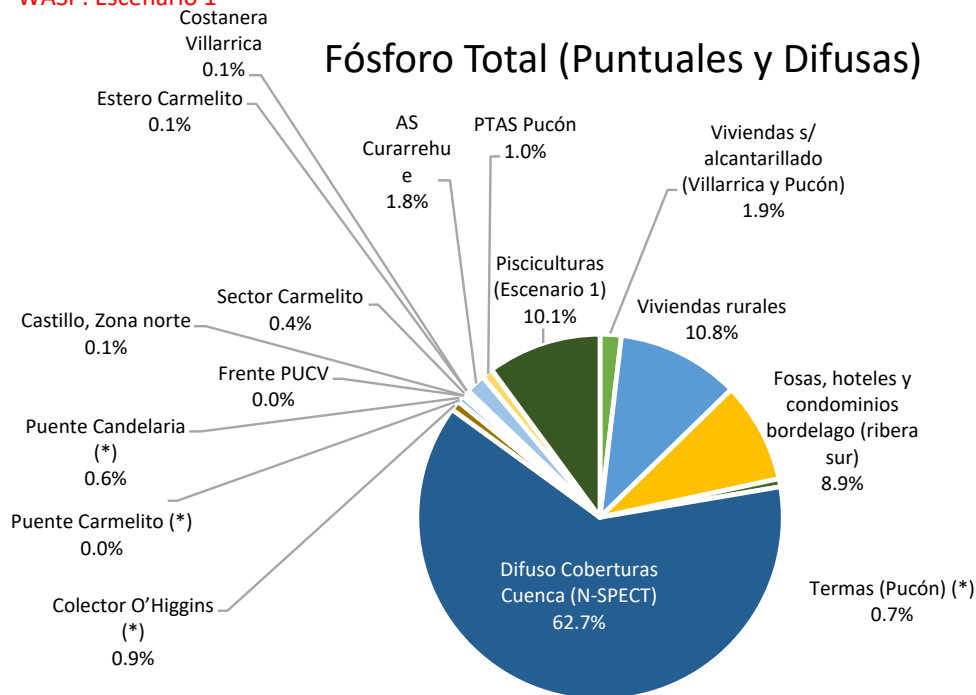


Tabla 57. Resumen del inventario de emisiones para la cuenca del Lago Villarrica (con WASP Escenario 2).

Tipo de Fuente	Fuente de información	Fuentes	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Difusa	Mesa Técnica (Aguas Araucanía)	Viviendas s/ alcantarillado (Villarrica y Pucón)	5.2	33.8
Difusa	INE (pre censo 2016)	Viviendas rurales	30.03	195.19
Difusa	MMA-UFRO (2018, Tabla 23, ley de Fick con base 100 años)	Fosas, hoteles y condominios bordelago (ribera sur)	24.72	120.61
Difusa	Mesa Técnica (M. Pucón)	Termas (Pucón) (*)	1.97	4.88
Difusa	Presente Estudio	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	173.9	531.1
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Colector O'Higgins (*)	2.48	5.66
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Puente Carmelito (*)	0.05	0.01
Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	Puente Candelaria (*)	1.58	1.91
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Frente PUCV	0.03	1.77
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Castillo, Zona norte	0.31	8.7
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Sector Carmelito	1.05	16.52
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Estero Carmelito	0.29	5.42
Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	Costanera Villarrica	0.16	16.24
Puntual	Presente Estudio	AS Curarrehue	4.88	23.10
Puntual	Presente Estudio	PTAS Pucón	2.76	31.30
Puntual	Presente Estudio	Pisciculturas (Escenario 2)	35.78	475.24
TOTAL			285.18	1471.49

NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total.

WASP: Escenario 1



WASP: Escenario 2

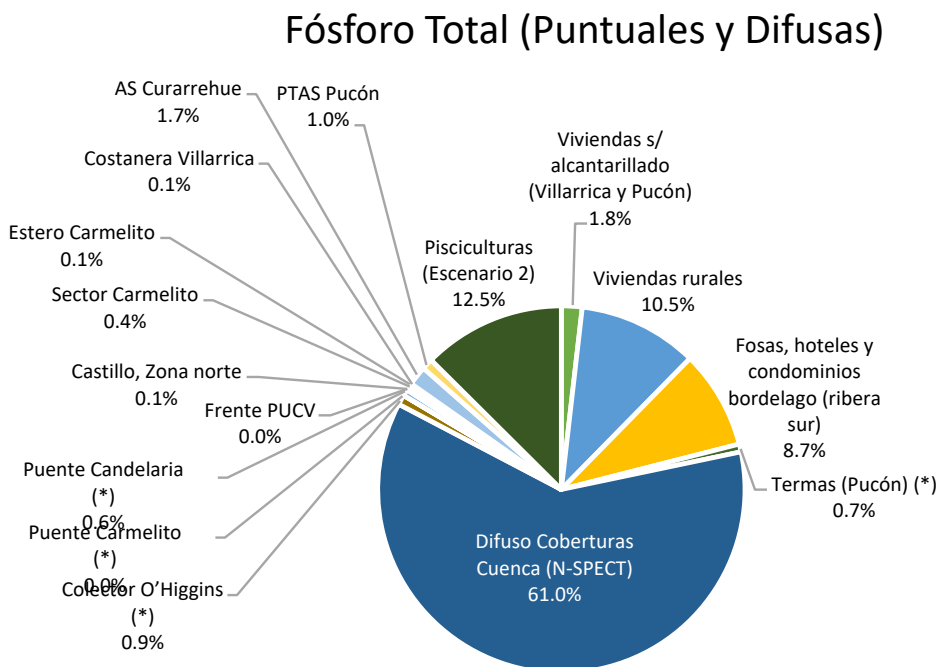
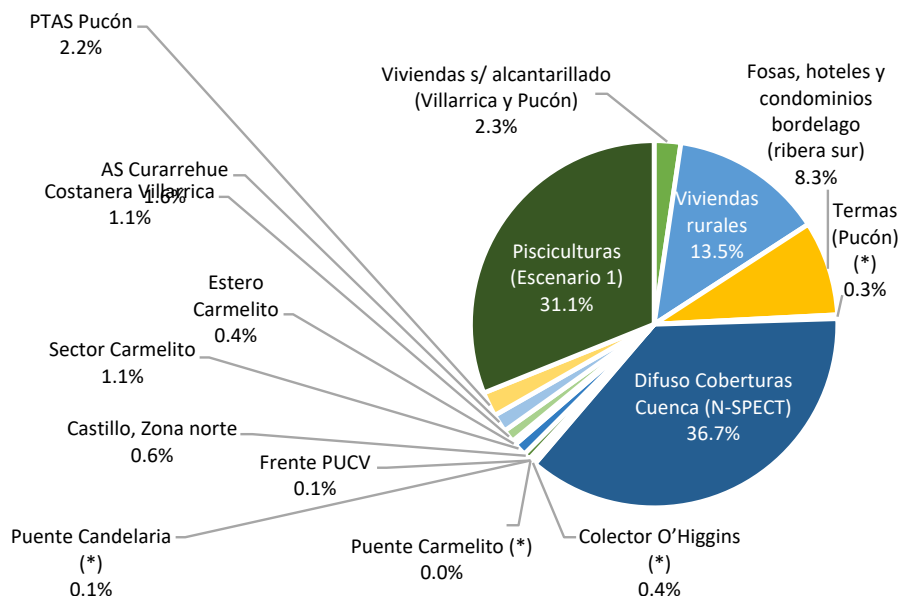


Figura 83. Distribución de emisiones de Nitrógeno Total según datos de la Tabla 56.
NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total.

WASP: Escenario 1

Nitrógeno Total (Puntuales y Difusas)



WASP: Escenario 2

Nitrógeno Total (Puntuales y Difusas)

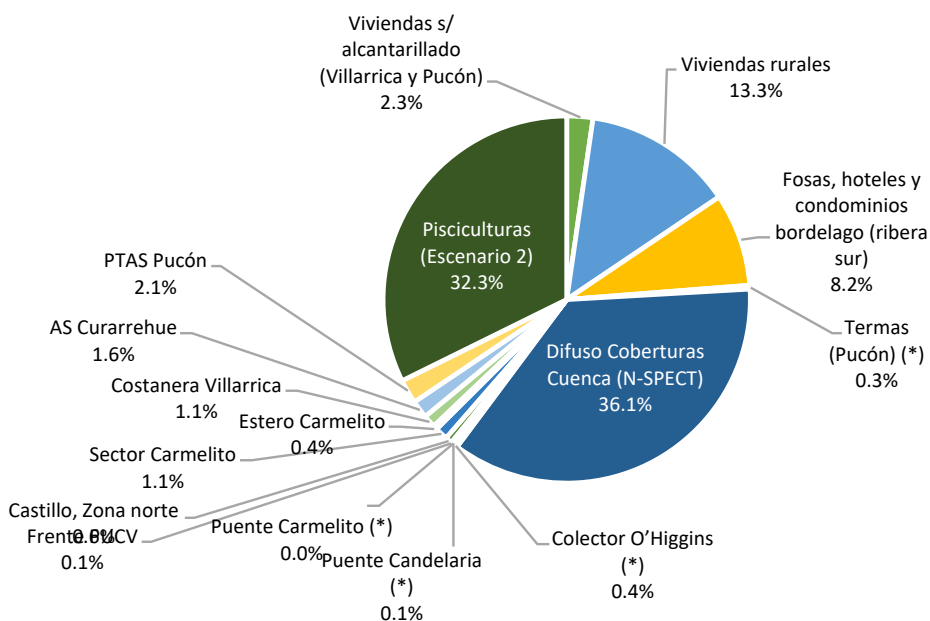


Figura 84. Distribución de emisiones de Nitrógeno Total según datos de la Tabla 56.
NOTA: (*) La especie de fósforo analizada por la Municipalidad de Pucón fue P-disuelto, se considera para el presente cálculo que todo el Fósforo Disuelto pasa a ser Fósforo Total.



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

CONCLUSIONES GENERALES



8. CONCLUSIONES GENERALES

1. Respecto a la medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en cauces aportantes al Lago Villarrica. De forma general se observaron variaciones importantes en las concentraciones de Nitrógeno y Fósforo en las condiciones de borde utilizadas para la estimación y modelación de aportes desde fuentes puntuales y difusas en la cuenca. Por lo tanto, se sugiere aumentar el número de muestreos tanto en la cantidad como en su periodicidad de forma sostenida en el tiempo; se aconseja realizar dos muestreos mensuales por un periodo de al menos un año completo para conocer las variaciones estacionales y su relación con las emisiones desde fuentes puntuales y difusas.
2. Respecto a la concentración de Fósforo Total, en los puntos de control (ver Figura 12b y b'), éste no mostró mayor variación durante el año, no así para el Nitrógeno total (ver Figura 12h y h') el cual muestra variaciones importantes en el Río Trancura en sus dos puntos de control (M5 y M6). Por lo tanto, se sugiere aumentar el número de muestreos tanto en la cantidad como en su periodicidad.
3. Respecto a la identificación y análisis de propuestas de medidas para reducir la carga de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas fue posible analizar 13 estudios realizado en la cuenca del Lago Villarrica (desde el año 1999 al año 2018). De ellos se desprendieron alrededor de 88 medidas, las cuales fueron ordenadas y sistematizadas, para luego ser evaluadas en 2 talleres ampliados a servicios públicos, empresas presentes en la cuenca y a la comunidad. De ello es posible concluir lo siguiente:
 - a. Respecto de las medidas de Gestión, es necesaria la implementación de un PDA para el Lago Villarrica, el cual considere: monitoreo constante, normas de emisión asociadas a límites de cargas de contaminantes anuales en todos los esteros y ríos de la cuenca, control de remoción de áridos en los afluentes aportantes, mejora de estándares de construcción en la ribera del Lago y regulación en el uso de lanchas y botes. Además de mejorar el sistema de monitoreo actual, considerando parámetros orgánicos, que implique mayor periodicidad de recolección de información, y que se encuentre asociada a una base de datos online y de acceso público. Finalmente, es necesaria la creación de instrumentos económicos para el incentivo de las mejoras implementadas en el PDA que incluyan impuestos verdes, programas para la gestión ambiental municipal, sellos ambientales con apoyo internacional, fomento de buenas prácticas agrícolas y subsidios para la mejora productiva sustentable.



- b. En cuanto a fuentes puntuales, se propone establecer menores límites de detección de reportes de pisciculturas, generando, además, límites menores de carga de nutrientes diarios/mensuales de sus efluentes. Considerar aumento en el valor de las multas y mayor inversión en fiscalización estatal, y finalmente la implementación de mejoras a las PTAS existentes e instalación de PTAS en urbes que no la poseen.
 - c. Respecto de las fuentes difusas, se propone el desarrollar un sistema de remoción de nutrientes hacia la zona pelagial del Lago Villarrica, el cual sea monitoreado y utilizado como bioindicador de la salud de este acuífero.
 - d. Respecto a medidas que pudieran ser evaluadas en este estudio mediante modelaciones matemáticas con WASP o N-SPECT, no fue posible establecer medidas concretas que implicaran algún tipo de intervención cuantificada sobre alguna de las diferentes fuentes de emisión establecidas en las mesas de trabajo, por lo cual no fue posible cumplir con este punto de la metodología. Se sugiere incluir este aspecto en un futuro estudio, identificando medidas de reducción concretas que permitan evaluar su efecto en la carga de nutrientes de los ríos y esteros.
4. Respecto de la evaluación, mediante modelos de transporte, y considerando los escenarios 1 (valores bajo el Límite de Detección = 0) y escenario 2 (valores bajo el Límite de Detección = 50%), de un conjunto de medidas para reducir la carga de nutrientes proveniente de los principales cauces aportantes al Lago Villarrica, fue posible determinar que:
- a. el aporte de Fósforo a la cuenca proviene en un 83.5–85.7% desde fuentes difusas, por lo tanto, es importante evaluar escenarios de control y reducción que ayuden a la mitigación de este aporte hacia el lago manejando los usos de suelo.
 - b. que, del aporte de Nitrógeno, éste es aportado en un 35.1–36.2% por fuente puntuales y 63.8–64.9% por fuentes difusas.
 - c. que, respecto al aporte por ríos y esteros, es el Río Trancura es el que mayor cantidad de nutrientes aporta. Fósforo Total: con 232.25–246.74 ton/año de un total aportado al lago de 246.38–263.45 ton/año, y Nitrógeno Total: con 1292.– 1320.73 ton/año de un total aportado al lago de 1424.27–1464.67 ton/año.
 - d. que, respecto de las principales fuentes puntuales aportantes, las Aguas Servidas de Curarrehue aportan significativamente a la carga que llega al lago desde el Río Trancura, de igual manera las pisciculturas Catripulli, Curarrehue, Caburgua II, Molco y Loncotraro son fuentes importantes de Nitrógeno y Fósforo Total, por lo que se sugiere poner atención a los procesos de cada



planta, con la intención de buscar fórmulas de optimización en el tratamiento de sus efluentes.

5. Respecto a las cargas por tipo de uso de suelo, el mayor aporte de Nitrógeno provendría de la cobertura Pradera (37.5%), seguida de Renoval (31.2%) y Matorral (23.2%), y el Fósforo provendría principalmente de las coberturas Renoval (31.1%), Matorral (24.0%), "Pradera" (22.65%) y Plantaciones Exóticas (14.4%).
6. Respecto del levantamiento de información realizado por la Mesa Técnica organizada por el Ministerio de Medio Ambiente:
 - a. Fue posible obtener datos relevantes de fuentes difusas como Viviendas sin alcantarillado (Villarrica y Pucón), Viviendas rurales, Fosas, hoteles y condominios bordelago (ribera sur) y Termas. Esta información fue sumada a lo calculado por N-SPECT, lo que permitió acortar la brecha existente entre los valores difusos reportados por WASP y lo calculado por N-SPECT.
7. Respecto de la aplicación de Agroquímicos, fue posible identificar las zonas y la cantidad de agroquímicos fosfatados y nitrogenados que se aplican en la cuenca, pero no fue posible establecer un método convincente para este estudio que representara de mejor manera el transporte de excedentes de estos agroquímicos hasta un cuerpo de agua que conectara al Lago Villarrica, por lo que se sugiere incluir este cálculo en un próximo estudio en la zona.
8. Finalmente se concluye que es necesario realizar un trabajo de evaluación de escenarios de contaminación y determinación de los límites de carga máxima de nutrientes que cada río y estero estudiado sería capaz de soportar, lo cual permitiría el establecimiento de normas de regulación para cada una de las fuentes estudiadas.



9. REFERENCIAS

- Besoain, E. y Sadzawka, M. A. (1999). Las Rocas Fosfóricas y sus Posibilidades de Uso Agrícola en Chile. In R. y M. Besoain (Ed.), *Libros INIA N° 2* (Vol. Colección, p. 23–36.). Santiago, Chile. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2018/05/LIBRO-FERTILIZACION-1.pdf>
- Burke, L., & Sugg, Z. (2006). Modelamiento Hidrológico de la Descarga de las Cuencas Hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano. *World Resources Institute*.
- DGA, D. G. de A. (2009). Antecedentes para el análisis general de impacto económico y social de la norma secundaria del lago Villarrica. Retrieved from <http://documentos.dga.cl/CQA5169.pdf>
- DICTUC-MMA. (2013). *Análisis Detallado de Medidas para Incorporar al Plan de Descontaminación por MP2.5 de Temuco y Padre Las Casas*.
- MMA-UACH. (2009). Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Villarrica.
- MMA-UCT. (2012). Análisis de la Carga de Nutrientes de las principales subcuencas aportantes al Lago Villarrica.
- MMA-UFRO. (2018). Informe Final “Determinación de las concentraciones de nutrientes en los principales afluentes al Lago Villarrica, estimación de su carga y propuesta de medidas para su reducción.”
- MMA. (2011). Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) Para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica., 75 p. Retrieved from http://www.sinia.cl/1292/articles-51209_Agies_lagovillarrica.pdf
- ODEPA, O. de E. y P. A. (2010). Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile Informe final. *Informe Final*.
- Zhao, Y., Feng, D., Yu, L., Wang, X., Chen, Y., Bai, Y., ... Gong, P. (2016). Remote Sensing of Environment Detailed dynamic land cover mapping of Chile : Accuracy improvement by integrating multi-temporal data, 183, 170–185. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.05.016>



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

10. ANEXO 1. Compendio general de medidas asociadas al Plan de Descontaminación Ambiental del Lago Villarrica

ANEXO 1

ID	Temáticas	Medida	Fuente de Información	Año	Página	Tipo de fuente	Cualitativas / Cuantitativas	Tipología
1	Gestión	Elaboración de norma primaria y secundaria de calidad ambiental para protección de aguas de ríos y lagos, con sus respectivos monitoreos para verificar cumplimiento	CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa	
	Gestión		CAPE IDEPE DGA	2004	104-106	Ambas	Cualitativa	
2	Gestión	Agregar estaciones de monitoreo si es estrictamente necesario	CAPE IDEPE DGA	2004	104-105	Ambas	Cualitativa	Monitoreo
3	Gestión	Frecuencia mínima de monitoreo (cuatro periodos estivales), donde en verano se debe realizar mayor cantidad debido a que ocurre mayor número de eventos de contaminación, para posteriormente hacer su modelación	CAPE IDEPE DGA	2004	104-105	Ambas	Cuantitativa	Monitoreo
	Gestión		UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cuantitativa	Monitoreo
	Gestión		Informe Claudia Espinoza	2017	79	Ambas	Cuantitativa	Monitoreo
	Gestión		CONAMA	1999	4	Ambas	Cuantitativa	Monitoreo
	Gestión		AGIES NSCA MMA	2011	51	Ambas	Cuantitativa	Monitoreo
4	Gestión	Plataforma única de monitoreo de calidad de agua disponible a la ciudadanía	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Ambas	Cualitativa	Educación ambiental
5	Gestión	Análisis de la reglamentación vigente en Chile para Planes de Descontaminación “aplicados a lagos” (comparación con aplicación en aire): C) Monitoreo, seguimiento y control de un futuro PDA y su cumplimiento oficial	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Puntual	Cuantitativa	Normativo
6	Gestión	Monitoreo a los centros termales (calidad de aguas y parámetros físico-químicos) por efecto de la temperatura sobre cauce	NUEVA	NUEVA	NUEVA	Puntual	Cuantitativa	Turismo
7	Gestión	Incorporar en la red de observación el Monitoreo de Coliformes fecales como indicador de la descarga de aguas servidas urbanas y rurales	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Puntual	Cuantitativa	Monitoreo
8	Gestión	Ubicar estaciones de control establecidas para calibración de modelo (estaciones DGA)	UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cualitativa	Monitoreo
9	Gestión	Herramientas Tecnológicas de Descontaminación en Lagos: A) Modelos de emisión-calidad	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Ambas	Cuantitativa	
10	Gestión	Generar incentivos para la reforestación y forestación de bosque nativo siempre-verde de las áreas identificadas como potencialmente forestables	Estudio UCT	2012	99	Difusa	Cuantitativa	General
11	Gestión	Usar el más alto estándar en tecnología ambiental para los botes recreacionales y profesionales, por ejemplo, el uso de cubiertas libres de Biocidas y el uso de motores con un bajo nivel de emisiones	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Difusa	Cualitativa	Turismo
12	Gestión	Se debe considerar la construcción de una planta de tratamiento para el pueblo Currupehue	UACH	2009	19 y 55	Puntual	Cuantitativa	
13	Gestión	Se propone que en las zonas 7, 8, 14 y 15 (con aglomeración de viviendas en el borde lago) que tienen alta influencia en la carga de fósforo y nitrógeno, se construyan pequeñas plantas de tratamiento, plantas elevadoras de aguas servidas o humedales artificiales para disminuir la carga orgánica y nutrientes descargados al lago.	UFRO	2018	112	Difusa	Cuantitativa	Residencial
14	Gestión	Construcción nueva planta tratamiento de aguas servidas de Pucón, Villarica y Currupehue	CONAMA	1999	1 y 2	Puntual	Cuantitativa	
15	Gestión	Instalar estaciones de control a nivel de subcuencas con presencia de pisciculturas	Estudio UCT	2012	98	Puntual	Cualitativa	Monitoreo
16	Gestión	Disminuir el ingreso de nutrientes por otras actividades (pisciculturas, casa de veraneo etc.).	UACH	2009	19	Ambas	Cuantitativa	
17	Gestión	Garantizar un buen rendimiento de plantas de alcantarillado (Planta Pucón)	UACH	2009	19	Puntual	Cuantitativa	Residencial
18	Gestión	Mejoramiento integral sistema alcantarillado de Pucón, Villarica y expansión	CONAMA	1999	1	Ambas	Cuantitativa	Residencial
19	Gestión	Diseño largo plazo de alcantarillado en la zona interurbana Villarrica-Pucón, o mejora de sistemas de fosas sépticas.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Residencial
20a	Gestión	Incorporar en el diseño del alcantarillado un colector de aguas lluvia.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Residencial
20b	Gestión	Modificar D.S 236 de 1926 sobre sistema de alcantarillados particulares (casas individuales)	CONAMA	1999	1	Difusa	Cualitativa	Residencial
21	Gestión	El presupuesto informado a los turistas, cuyo dinero sea destinado a proyectos que apoyen la descontaminación del lago como la construcción de la red de alcantarillado Pucón-Villarrica	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Puntual	Cualitativa	General
22	Gestión	Elaboración plan de manejo de la cuenca lacustre	CONAMA	1999	1	Ambas	Cualitativa	Normativo
23	Gestión	Elaborar norma de emisión para motores de lanchas	CONAMA	1999	2	Puntual	Cualitativa	Turismo
24	Gestión	Reglamentar el tránsito de lanchas y motos acuáticas en relación a riberas (por contaminación acústica)	CONAMA	1999	2	Puntual	Cualitativa	Turismo
25	Gestión	Actualización Plan Regulador intercomunal Villarrica-Pucón	CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa	Normativo
26	Gestión	Elaboración de política ambiental para lagos araucanos y patagónicos	CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa	Normativo
27	Gestión	Programa de apoyo a la gestión ambiental municipal y a los Consejos Ecológicos Comunitarios	CONAMA	1999	3	Ambas	Cualitativa	Educación ambiental
28	Difusa	Acuerdo de cooperación con Departamento de Ecología del Estado de Washington EEUU –CONAMA sobre gestión lacustre	CONAMA	1999	4	Difusa	Cualitativa	General
29	Gestión	Se debe restringir/fiscalizar más la extracción de áridos en el río Trancura	UACH	2009	19 y 55	Difusa	Cuantitativa	Industrial
30	Gestión	Difusión y educación en materia de conservación de ecosistemas acuáticos.	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental

31	Gestión	Otorgamiento de un sello ambiental para aquellas empresas, organizaciones o personas que reduzcan voluntariamente sus contaminantes en la cuenca.	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental
32	Gestión	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica. : B) Instrumentos de gestión ambiental: compensaciones de emisiones y certificación	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Puntual	Cuantitativa	General
33	Gestión	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica. : C) Difusión de implementación de medidas en la comunidad	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Difusa	Cualitativa	Educación ambiental
34	Puntual	Tratamiento de aguas residuales de descargas en el entorno del Lago (canales urbanos y tuberías)	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Puntual	Cuantitativa	Residencial Industrial
35	Gestión	Lista de prioridades y estado de calidad de ríos por tramo o subcuenca	UCT (Imperial)	2012	42	Ambas	Cuantitativa	Gestión
36	Difusa	Fomento de prácticas agroecológicas y desincentivo desde el estado a prácticas que promueven uso de aditivos de nutrientes al lago. Políticas de incentivo para la reducción del uso de fósforo, como remover subsidios que promuevan el excesivo consumo de fertilizantes	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Difusa agricultura
37	Gestión	Prohibición de fósforo en los detergentes.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Educación ambiental
38	Difusa	Promover la agricultura orgánica a través de subsidios que atraigan a los agricultores y elaborar marketing de productos regionales través de una estrecha relación entre productores, comerciantes y consumidores.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Difusa agricultura
39	Gestión	Se propone establecer límites de carga anual para cada uno de los ríos y esteros. Estos límites deberán ser definidos en base a los valores propuestos en la NSCA del Lago Villarrica	UFRO	2018	105	Ambas	Cuantitativa	Normativo
40	Gestión	Propuesta de acciones público-privadas para abordar "con éxito y legitimidad", un PDA en el Lago Villarrica. A) Sustentabilidad de actividades turísticas en la cuenca	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Ambas	Cualitativa	Turismo
41	Gestión	Implementar impuestos verdes, el que contamina paga.	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Ambas	Cualitativa	General
42	Difusa	La zona ripariana remueve nitrato de agua a través de varios mecanismos: absorción por las plantas, desnitrificación por bacterias, inmovilización y reducción del nitrato a nitrógeno	ECOHYD-MMA	2016	55	Difusa	Cuantitativa	Gestión
43	Difusa	Mantener zonas buffer alrededor de los márgenes del lago y los arroyos, lo que se traduce en la aplicación de la ley 20283 sobre Protección del Bosque Nativo y Fomento Forestal	UACH	2009	55	Difusa	Cuantitativa	Gestión
44a	Gestión	Métodos químicos (adición de coagulantes) y métodos mecánicos (filtrar agua, tratarla y devolverla) para la remoción de Cianobacterias del agua (Acio, 2018).	Informe Claudia Espinoza	2017	78	Ambas	Cuantitativa	Complementarias
44b	Gestión	Biommanipulación, se controla la biomasa algal por un lado alterando la cadena trófica, favoreciendo organismos (zooplankton y peces) que se alimentan de fitoplancton (top down strategy) y por otro lado controlando los nutrientes y energía solar (bottom up strategy)	Informe Claudia Espinoza	2017	78	Ambas	Cuantitativa	Complementarias
44c	Gestión	Adición de químicos como sulfato de cobre para el control del bloom de algas. En ciertas dosis los iones de cobre mata a las algas, reduciendo la Clorofila en el agua.	Informe Claudia Espinoza	2017	78	Ambas	Cuantitativa	Complementarias
44d	Gestión	Aireación del hipolimnion y adición de compuestos para evitar el reciclaje de nutrientes desde el sedimento. Se usa también el dragado para remover fósforo desde el fondo, pero es muy costoso y limitado a lagos poco profundos.	Informe Claudia Espinoza	2017	78	Ambas	Cuantitativa	Complementarias
45	Gestión	Implementar boya telemétrica de medición de Clorofila "a".	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Puntual	Cualitativa	Monitoreo
46	Gestión	Acciones relacionadas con la protección de las costas, ya que estas son susceptibles en relación a proyectos de construcción. En este sentido, establecer zonas susceptibles de ser protegidas, aunque no necesariamente definiendo áreas protegidas, sino la idea de la sustentabilidad	Informe Claudia Espinoza	2017	79	Ambas	Cualitativa	Normativo
47	Gestión	Medición simultánea de nuevos parámetros como grasas, aceites, detergentes e hidrocarburos (parámetros orgánicos)	CAPE IDEPE DGA	2004	105	Ambas	Cualitativa	Monitoreo
48	Gestión	Reducir carga de fósforo en la zona pelagial del lago Villarrica	AGIES NSCA MMA	2011	51	Ambas	Cuantitativa	
49	Gestión	Estimar la capacidad de carga de la cuenca (total)	Estudio UCT	2012	98	Ambas	Cualitativa	Monitoreo
50	Gestión	Evitar resuspensión de sedimento (restringir uso de botes, reducir velocidad en la bahía), cosecha de macrofitas (extracción de biomasa)	UACH	2009	55	Difusa	Cuantitativa	Turismo
51	Gestión	Para poder evaluar la evolución del P y N en la actividades silvoagropecuarias, se proponen los siguientes indicadores: Superficie cultivada por distrito censal (agrícola), Superficie plantada por distrito censal (forestal), Densidad de animales por hectárea, Intensidad de uso de fertilizantes y agroquímicos (masa/volumen/hectárea)	UDD	2016	44-45	Difusa	Cualitativa	Monitoreo
52	Gestión	Evitar trabajos de movimiento de tierra cercana a los cauces. Esta actividad produce que el fósforo se suelte de la tierra y sea arrastrado por los ríos.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Industrial

53	Difusa	Herramientas Tecnológicas de Descontaminación en Lagos: D) Medidas para reducción de nutrientes por fuentes domiciliarias difusas.	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Difusa	Cualitativa	General
54	Gestión	El uso de bioindicadores se propone como una nueva herramienta para conocer la calidad del agua	UDD	2016	73	Ambas	Cualitativa	
55	Puntual	Aplicación de mallas si se sobrepasa el límite de carga establecido para cada piscicultura, utilizando el recurso generado para mediciones y monitoreo en el Lago o cauces de la cuenca. Estas medidas fuerzan a los productores a encontrar métodos de tratamientos rentables y eficaces.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	General
56	Puntual	Establecer un límite de carga de nutriente diaria o mensual en base a la producción anual de las pisciculturas. Esta carga máxima para las pisciculturas debiera estar en función de su cercanía al Lago y obtenerse a través de modelos.	Informe Claudia Espinoza	2017	75	Puntual	Cuantitativa	Control
57	Puntual	Tecnología que podría ser utilizada para la reducción de Fósforo y Nitrógeno por parte de las pisciculturas: aplicación de un Proceso continuo de cultivo de microalgas para la producción de biomasa y la eliminación de nutrientes de las aguas residuales utilizando un fotobiorreactor de membrana	UFRO	2018	106	Puntual	Cuantitativa	Industrial
58	Puntual	Tecnología que podría ser utilizada para la reducción de Fósforo y Nitrógeno por parte de las pisciculturas: utilización de humedales artificiales	UFRO	2018	106	Puntual	Cuantitativa	Industrial
59	Puntual	Tecnología que podría ser utilizada para la reducción de Fósforo y Nitrógeno por parte de las pisciculturas: utilización de membranas	UFRO	2018	108	Puntual	Cuantitativa	Industrial
60	Puntual	Establecer un límite máximo de extracción de agua. Esta medida fue incorporada en la legislación europea (SustainAqua, 2009), forzando a las empresas acuícolas a implementar tecnologías que permiten el reutilizamiento del agua, para mantener sus niveles de producción. Esta medida, impide la dilución de contaminantes al tener acceso a grandes cantidades de agua. En el caso de Hungría, se aplica una tasa a los vertidos industriales, sobre la base de cargas anuales vertidas, la cual es destinada a estudios, protección y mejora del cuerpo receptor.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control
61	Puntual	activados con un flujo continuo del efluente + precipitación fisicoquímica que promueva la precipitación de fosfato y el reajuste o extensión de una planta para incrementar la remoción biológica por microorganismos (remoción de P) ** Disminuir de 2 mg/l a 1 mg/l la concentración del efluente, esto dado que, en muchos casos, de acuerdo a los reportes de la SISS, se alcanzan estas reducciones con la tecnología que la planta presenta actualmente. ** Establecer una concentración de 0,1 mg/l, lo que implica implementar tecnología como son agregar químicos y filtros como se indica de acuerdo a Tetra Tech (2013).	Informe Claudia Espinoza	2017	73	Puntual	Cuantitativa	Residencial
62	Puntual	Herramientas Tecnológicas de Descontaminación en Lagos: B) Mejoramiento tecnológico para tratamientos de afluentes (fuentes industriales) y su factibilidad en el país	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	2	Puntual	Cualitativa	
63	Puntual	Sistemas de tratamiento mediante el uso de sistemas de filtros (ej. filtros rotatorios) y piscinas de decantación, y en algunos casos de recirculación de agua	UDD	2016	30	Puntual	Cuantitativa	
64	Puntual	Solicitar en un determinado tiempo cambiar gradualmente de sistema de flujo abierto a recirculación de agua, incorporando tratamiento biológico a su sistema de tratamiento. Los costos de inversión son reducidos y los de operación y mantenimiento se basan en consumo energético y en equipos de desinfección (Amber 21, 2014)	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial
65	Puntual	Medidas de descontaminación aguas servidas de Curarrehue: implementación de una Planta de tratamiento de aguas servidas en Curarrehue con tratamiento secundario o bien el tratamiento separado de cada uno de los 7 puntos de descarga.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Puntual	Cuantitativa	Residencial
66	Puntual	Incentivar sistemas de recirculación para disminuir carga de pisciculturas	AGIES NSCA MMA	2011	8	Puntual	Cuantitativa	General
67	Puntual	Evaluar la asignación de cargas de emisión (NVIDL) para las pisciculturas de la subcuenca Puñón	Estudio UCT	2012	98	Puntual	Cuantitativa	Control

68	Puntual	Las pisciculturas en tierra deben disponer de sistemas para reducir la cantidad de sólidos suspendidos en sus descargas (piletas de decantación y/o filtros rotatorios, los cuales tienen una eficiencia de al menos un 80%)	UACH	2009	11	Puntual	Cuantitativa	Industrial
69	Puntual	Homogeneizar los procesos de cultivo de la manera mas eficiente y ambientalmente seguras para todas las pisciculturas de la cuenca. Incorporar los alimentos más adecuados a todas las pisciculturas, uso de dispensadores automáticos para reducir pérdida de alimentos y exigir el uso exclusivo de detergentes biodegradables en la desinfección de las unidades de cultivo. Posibilidad de reducir fármacos por uso de buenas prácticas, en la piscicultura Melipeuco nunca se han aplicado antibióticos en la fase de agua dulce	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial
70	Puntual	Establecer condiciones mínimas para las nuevas pisciculturas que se establezcan en la cuenca tales como un sistema de recirculación de agua.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control
71	Puntual	Indicador número de parámetros y LD de reportes de pisciculturas (SNIFA) por Decreto	NUEVA	NUEVA	NUEVA	Puntual	Cuantitativa	Control
72	Puntual	Se debe mejorar la fiscalización de las actividades de las pisciculturas (Trancura, Molco, Correntoso etc.) y considerar la limitación de las descargas	UACH	2009	55	Puntual	Cuantitativa	Control
73	Puntual	Establecer menores límites de detección en los reportes que entregan las empresas a la autoridad competente de tal manera de poder contrastar las estimaciones teóricas de emisión de contaminantes con el valor medido directamente en el efluente.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Control
74	Puntual	Definir un plan de reducción de emisiones a las fuentes puntuales establecidas en cada uno de estos tributarios, esto en función del valor ponderado de su carga total anual	UFRO	2018	105	Puntual	Cuantitativa	
75	Difusa	Solicitar o proponer incentivo a la la conexión de viviendas urbanas no conectadas a alcantarillado de Villarrica - Pucón.	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Difusa	Cuantitativa	General
76	Puntual	Precipitación química para remover fósforo, los agentes más empleados son: Sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃ , Cloruro férrico (FeCl ₃), Sulfato férrico Fe ₂ (SO ₄) ₃ , Cal o hidróxido sódico Ca(OH) ₂ , Ácido hidroclicórico o sulfúrico (NaOH) y Sulfuro sódico.	Informe Claudia Espinoza	2017	75	Puntual	Cuantitativa	Industrial
77	Puntual	Incorporar filtros rotatorios con micropantales interiores. En el mercado se encuentran filtros de hasta 30 µm, el precio de los filtros incrementa al disminuir el tamaño del poro. (Quilom Acuicultura)	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial
78	Puntual	Herramientas o incentivos para el uso de los efluentes de pisciculturas tales como cultivo de vegetales que utilicen los nutrientes para su producción.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Puntual	Cuantitativa	Industrial
79	Difusa	Disminuir usos de suelo de praderas y terrenos de uso agrícola	Estudio UCT	2012	99	Difusa	Cuantitativa	Agricultura
80	Difusa	Buenas prácticas de manejo de suelos	UACH	2009	19	Difusa	Cualitativa	General
81	Difusa	Restricción de carga de contaminantes en lagos. Restringir los inputs de fosforo, reducir la erosión del suelo y desarrollar nuevas tecnologías para limitar suelos	Informe Claudia Espinoza	2017	75	Difusa	Cuantitativa	Control
82	Difusa	Herramientas tecnológicas de Descontaminación en Lagos. C) Medidas para reducción de nutrientes por contaminación difusa (agricultura y usos de suelo y aguas subterráneas)	Acta 1°seminario de cooperación Bavaria - MMA	2018	3	Difusa	Cualitativa	General
83	Difusa	Proteger zonas erosionadas con barreras de arenas. La erosión del suelo puede ser reducida eliminando la deforestación y técnicas de quemado en agricultura.	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	General
84	Difusa	Los agricultores pueden reducir la erosión y sedimentación (20-30%) a través de: la aplicación de mejores técnicas de irrigación para controlar el volumen y la tasa de flujo del agua, mejorar la eficiencia del agua y reducir el transporte y movimiento del suelo (Shanley et al. 1994)	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Agricultura
85	Difusa	Plan de reforestación con vegetación nativa en áreas riparianas en la cuenca. Esta vegetación actúa como buffer entre campos y lagos y es necesaria para disminuir el exceso de nutrientes por escorrentía (Jorgensen 2001). Al mismo tiempo, proteger las zonas donde exista vegetación ripariana contra la deforestación y del lago Villarrica	Informe Claudia Espinoza	2017	77	Difusa	Cuantitativa	Normativo
	AGIES NSCA MMA		2011	8	Difusa	Cuantitativa	Normativo	
	Estudio UCT		2012	99	Difusa	Cuantitativa	Normativo	
86	Difusa	Pedir certificado a los usuarios que contratan el servicio de camiones limpia fosas	ACTA 3a MESA TÉCNICA	2018	-	Difusa	Cuantitativa	Control
87	Difusa	La generación de biofiltros ha sido demostrado que son medidas eficientes para el control de contaminación del flujo subsuperficial que provienen de fuentes difusas	ECOHYD-MMA	2016	7	Difusa	Cuantitativa	General
88	Difusa	Usar el lodo como fertilizante de agricultura o para la producción de biogás.	Informe Claudia Espinoza	2017	76	Difusa	Cuantitativa	General

11. ANEXO 2. Registro de asistencia y fotografías Taller 1

ANEXO 2

LISTA DE ASISTENCIA

PRIMER TALLER DE TRABAJO, PDA LAGO VILLARRICA

VIERNES 17 DE AGOSTO DEL 2018, TEMUCO



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

ID	Nombres	Apellidos	Organización	Teléfono/Celular	Correo electrónico	Firma
1	Carlos ESSE	ESSE Thomas	U. Autónoma	9-76920927	carlos.esse@uautonoma.cl	
2	GERMAN MA4'6	MALIB	SOC NAKA WU.	96420056	german@naka.wu.cl	
3	SOUTRO	CRUZ	IMK-UFR	967890951	gestiocruz@ufrontera.cl	
4	Ricardo	LOPEZ	Salmon Chile	942858580	rlopez@salmon.cl	
5	ESPERAN	PAMINEZ	INTESAL	93267656	cpaminez@intesal.cl	
6	ROBERTO	MARINO	U. AUTÓNOMA	9395177	roberto.marino@uautonoma.cl	
7	SERGIO	NARSTE	COUAF	452298164	sergio.narste@couaf.cl	
8	Gerardo	Pérez Legos	Gobierno Regional	45 2968768	gperez@gobernacion.cl	
9	Nicolás	Gálvez	UC-Villarrica	9-42929659	ngalvez@ucv.cl	
10	Carol	Fernanda's	Los Tordos	8-719-6674	cferrand@lostordos.cl	

LISTA DE ASISTENCIA

PRIMER TALLER DE TRABAJO, PDA LAGO VILLARRICA

VIERNES 17 DE AGOSTO DEL 2018, TEMUCO



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

11	Alejandro Ag	Aguayo	Los Tiempos	9 75557763	alejandro. agayo@wsp.cl con	
12	Andrea	Juarez	MMA	—	ajarau@mma.gob.cl	
13	Babson	CITAMA	605 M ² The Valley	983155065	bcisterna@citama.cl	
14	Luis	MUNOZ	SMA		luis.munoz@sma.gob.cl	
15	GABRIELA	GARRIDO	ARMADA DE Chile	982535833	ggarrido@dgtrn.cl	
16	Leon	BEZERRA	ARMADA DE Chile	976996191	lbezerra@dgtrn.cl	
17	INGRID	SUAZO G.	MARINE FARM.	98698729	isuazo@marinefarm.cl	
18	Marcos	SCHER	Marine Farm	99702332	mscher@marinefarm.cl	
19	ALEXANDRA	AILLAPAN	PULSO VERDE	971469543	ale.ailapan@pulsos.com	
20	Denise	GUINÉSSE	Agua Libre	9900806	denises@smail.com	
21	Andrea	FILIZ	SEA		andrefiliz@sea.gob.cl	

LISTA DE ASISTENCIA

PRIMER TALLER DE TRABAJO, PDA LAGO VILLARRICA

VIERNES 17 DE AGOSTO DEL 2018, TEMUCO



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

22	Cristina	Emilio Lugo	SEA	952970917 94438086	cl.mlar. d @ser.gob.cl fhermandez @socovesa.cl	
23	Francisco	Hernández	SOCO VESA SA			
24	Rodrigo	Torrijó	Hendrix Snakes	10.951.981-1	rtorrijó@ gmail.com	
25	JUAN MANUEL	TORO	TOROVIA SPA	5814506-1	Junatorpe @mail.cl	
26	Alejandra	Peyck?	ASCC / S. económica	45-2952121	Alejandra.Peyck@ ASCC.cl	
27	Beris	Pedraza	Sereni Medio Amb	45-2947770	bpedraza@mmgob.cl	
28	César	Hobasco	Municipalidad Tucumán	45-293004	caudis@comuni- cacion.tucumán.cl	
29	Maydalena	Braun	Multiexport Foods	17630518 978874259	mbrain@ multiexport Foods.com	
30	M ^{ra} Teresa Castro		Multiexport Foods	991232158	mcastro@ multiexportfoods .com	
31	FRANCISCO	LOPEZ	MULTIEXPORT	976678013	flopez@multiexportfoods	
32	Felipe	PERELOS	A. ARAUJO	988031161	felipe.pere- los@asociacion.cl	

LISTA DE ASISTENCIA

PRIMER TALLER DE TRABAJO, PDA LAGO VILLARRICA

VIERNES 17 DE AGOSTO DEL 2018, TEMUCO



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

33	Marioly	Flores	SERNAPESCA	45-2238390	malfres@semapesca.cl	
34	Francisco	Quisada Ugalde	Muni. Villarrica	995413979	aspo@villarrica.gub.cl	
35	Rodrigo	Fuentes Martínez	DGA	45-2462385	hugo.fuentes.p@opm.gob.cl	Rodrigo Fuentes
36	Lily	Pomo	Muni. Cerro Negro	97027089	ATCESIDUOSURAMELUC@gmail.com	
37	Gabriel	Govikón	MAI	984521890	moiclaunkupa@gmail.com	
38	Nicolás	Diabros	MAI	95869266+	MAICFRANKURA@gmail.com	
39	Rocío	Toro	MMA	2947765	r.toro.r@gmail.com	Rocío
40	Marta	Hernández	MMA	2947758	m.hernandez.r@gmail.com	
41	Caroline	Hazaud	MMA	2947758	chazaud.r@gmail.com	
42	Ronika P.N	Pinaud	Municipalidad Pucón	452293004	Uambiental@municipalidadspucón.cl	
43	Evelyn	SILVA	Municipalidad de Pucón	982496854 982496854	Enzo@municipalidadspucón.cl	Evelyn

LISTA DE ASISTENCIA

PRIMER TALLER DE TRABAJO, PDA LAGO VILLARRICA

VIERNES 17 DE AGOSTO DEL 2018, TEMUCO



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
 Centro de Gestión y
 Tecnologías del Agua

44	Jam Pim	FORÉ				
45	Claudio Navarro	Municipalidad / Pucón	Municipalidad Pucón	83619612	Proden municipal Res. d	
46	Pablo	Solano Lopez	"	995410394	pablosolmanospobos@gmail.com	
47	José Luis	Rodríguez López	SECRETARÍA DE SALUD	652551258	j.rodriguez@rnsa.vp.gov.cl	
48	Marcelo Santos	Aguirre	CONAF	984729039	marcelo.santos@conaf.cl	
49	Marcela Rom	San -miwu	MIWU	96258299	miwuent@miwu.cl	
50						
51						
52						
53						
54						



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua



Mesa de Fuentes Difusas



Mesa 1 de Gestión



Mesa 2 de Gestión



Mesa 1 de Fuentes Puntuales

ANEXO 3



JC
 Jabo
 FUGS

Actividad:	Mesa técnica lago Villarrica. quinta reunión				
Fecha:	21-11-2018		Lugar:	Centro Cultural Villarrica.	
N°	Nombre	Institución/sector	Cargo/Unidad	Teléfono	Correo Electrónico
1.	Barbara Cisternas	Gob. Metropolitana	Enc. Múltiple Ambiental	63 221 6366	bcisternas@dgtm.cl
2-	Héctor Salgado	CAPITANÍA DE PUERTO LAGO VILLARRICA	CAPITÁN DE PUERTO	998878911	CPVILLARRICA@DGTM.CL
3-	JUAN MANUEL PÉREZ	CAC VILLARRICA	PARTICIPANTE	994331335	juanmanuel.perez@lacacvillarrica.cl
4-	Matías Huete	Capitanía de Puerto Lago Villarrica	Participante	95503985	CPVILLARRICA@DGTM.CL
5-	Cristhian Sandoval	capitanía de puerto de lago villarrica	Participante	981219967	CPVILLARRICA@DGTM.CL
6	Ricardo López	Salmon Chile	Representante Asociado	942858580	rlopez@salmonchile.cl
7	Gustavo Ciudad	IMA - UFRO	Director IMA	67890951	gustavo.ciudad@ufrontera.cl
8	Juan Carlos Ortega	Centro del Agua UFRO	Director	79315182	juan.ortega@ufrontera.cl
9	Sergio Morales Sáez	CONAF / Centro Ambiente	Jefe Sección EV Ambiental	45-2298164	Sergio.morales@conaf.cl
10	Francoisco Gomez A.	U. AUTÓNOMA	PROFESOR ASOCIADO	98445372	FGomezA.ALANEDA@GMAIL.COM
11	Vicente Durán	FUNTA DEL LAGO VILLARRICA IDEA	PRESIDENTE	9-92237346	VICENTE DURAN@FUNTALAGO.VILLARRICA.GOV



Actividad:	Mesa técnica lago Villarrica. quinta reunión				
Fecha:	21-11-2018		Lugar:	Centro Cultural Villarrica.	
N°	Nombre	Institución/sector	Cargo/Unidad	Teléfono	Correo Electrónico
12	XIMENA ROJAS	INTESAL	JEFE. M. AMB.	9 8837 2750	xrojas@intesal.cl
13	Nicolás Ariabada	MAI	VOCERO	958692667	naictrankura@gmail.com
14	loreto lagos	MAI		89291939	loreto.c.lagos@gmail.com
15	Francisco Quesada Yáñez	Municipalidad Villarrica	Director DTAO	952292810	asea@villarrica.org
16	Lily Romo C.	Mun. Curanuehue.	Profesional Conservación Recursos. / AT-PAESD.	770270 89	Lily.romo@curanuehue.cl
17	Luis Muñoz F	SMA	JEFE REGIONAL		luis.munoz@sma.gob.cl
18	Eric Bravo E.	BILOGEA	Encargado Evaluación Amb.	9-79600126	Eric.Bravo@biogea.cl
19	CARLOS ROSSI ARAYA	Hendrix Genetics Agriculture S.A	Gerente de Operaciones	9 61931706	carlos.rossi@hendrix- genetics.com
20	CATALINA MARTINEZ	CEGETCO	Ing. DE Proyecto	97357754	CATALINA.Martinez@ufromera.cl
21	Karla Abarzúa G.	CEGETCO	Ing. de proyecto	932021927	K.abarzuaga03@ufromera.cl



Actividad:	Mesa técnica lago Villarrica. quinta reunión				
Fecha:	21-11-2018		Lugar:	Centro Cultural Villarrica.	
N°	Nombre	Institución/sector	Cargo/Unidad	Teléfono	Correo Electrónico
22	Rodrigo Fuentes Montenegro	DGA	Encargado Ambiental	2462385	hugo.fuentes@map.gob.cl
23	Monica Pinard	Municipalidad de Pucón	Profesional Unidad Ambiental	452293004	U Ambiental @ municipalidad Pucón. cl.
24	Ezequiel Silva	Municipalidad de Pucón	Directora Área Ambiente y Medio Ambiente	02496054	ESILVA@municipalidad Pucón.cl.
25	Carol Fernandois	Exp. Los Fiordos Hta	Jefe H. Amb	+56981587729	cfernand@losfiordos.cl
26	Mercedes Mistal	UFRO	Coord. Licita. Villarrica	+56966814390	mercedes.mistal@ufrontera.cl
27	Vivianne Fernández	UFRO	Profesional	997422422	vivianne.fernandez@ufrontera.cl
28	Cristina Cordero	SEA	Co. Amb.	2452470917	clmendo.1@sea.gob.cl
29	Luis Muñoz	SMA	JEFE REGIONAL		luis.muñoz@sma.gob.cl
30	Marjorie Schwartz	MMA	Profesional Hídrica		mschwartz@mma.gob.cl
31	Boris Pacheco	MMA	Profesional		bpacheco@mms.gob.cl



38

Mesa técnica lago Villarrica. quinta reunión					
Actividad:					
Fecha:	21-11-2018		Lugar:	Centro Cultural Villarrica.	
N°	Nombre	Institución/sector	Cargo/Unidad	Teléfono	Correo Electrónico
32	LAURA MARRÍQUEZ C.	SEREMI DE SALUD	Jefa UNIDAD DE AGUA	2 551246	L.MARRIQUEZ@REDSALUD.GOV.CL
33	Marcia Costilla S	Seremi de Salud	fiscalizador U. Agua	45 255 12 45	marcia.costilla@redsalud.gov.cl
34	CARLOS BRICEJON	CAC Villarrica	DIR. CORP. DESARROLLO	9 8828 6050	carlos.bricejon@gmail.com



**UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA**
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua



Taller 2: Validación de medidas.

13. ANEXO 4. Registro fotográfico salidas a terreno complementarias

ANEXO 4



Salida a terreno 30-10-2018: Municipalidad de Pucón



Ducto 2 Termas Los Pozones



Termas Quimeyco



Ducto 2 Termas Huife



Termas Peumayen



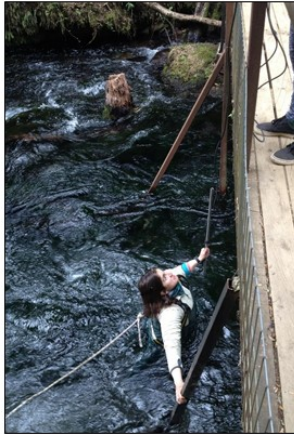
Termas Pucón Indómito



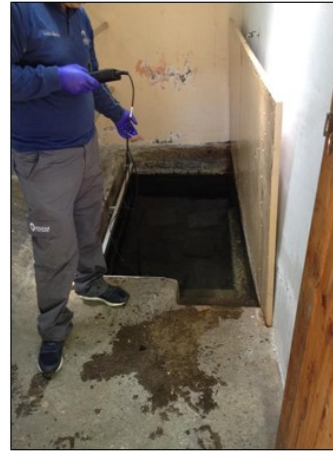
Termas Liucura



Salida a terreno 28-11-2018: Municipalidad de Pucón



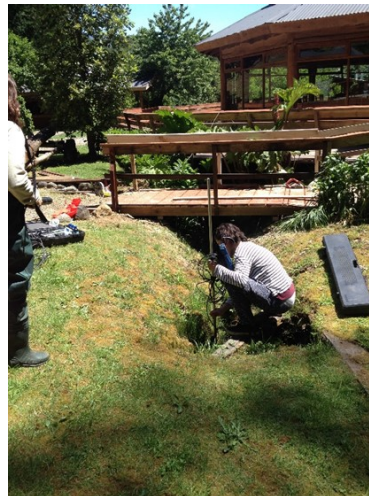
Aforo en los Ojos del Caburgua



Ducto 2 Termas de Palguín



Toma de muestra de calidad Termas Trancura



Aforo del ducto Termas de Montevivo



Muestreo de calidad Termas de San Luis



Aforamiento Termas Menetúe



Salida a terreno 18-12-2018: Municipalidad de Pucón



Aforo en canal colector calle O'Higgins



Monitoreo aguas debajo de descarga PTAS Pucón



Monitoreo en Ojos del Caburgua



Puente Carmelito



Puente Candelaria



Salida a terreno 29-11-2018: DIRECTEMAR



Frente PUCV



Castillo



Sector Carmelito



Estero Carmelito



Costanera Villarrica



Salida a terreno 23 y 24-10-2018: Dirección General de Aguas



Aforo en Pasarela 1



Aforo en Pasarela 2



Aforo en estero superior que llega a la poza grande



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

14. ANEXO 5. Geometría WASP para Río Trancura

ANEXO 5



Segment Number	Segment Name	Length (m)	Width (m)	Surface Area (m2)	Depth (m)	Volume (m3)	Travel Time (days)	Velocity	Slope (m/m)	Roughness
River	M1									
1	T.1 Trancura B-12	1355.11	50.00	67755.36	0.85	57592.06	0.02	0.76	0.00806	0.04000
2	T.2 Trancura	1469.29	28.38	41691.19	0.71	29392.29	0.01	1.61	0.00000	0.04000
3	T.3 Trancura	1112.87	6.75	7511.90	0.56	4206.66	0.00	8.54	0.00000	0.04000
4	T.4 Trancura	1197.68	20.88	25001.57	1.78	44502.80	0.02	0.87	0.00000	0.04000
5	T.5 trancura	1470.65	13.44	19761.89	1.12	22034.51	0.01	2.15	0.00000	0.04000
6	T.6 E. S/N 1	396.77	6.00	2380.62	0.45	1071.28	0.00	7.57	0.00000	0.04000
7	T.7 As Curarrehue	1039.01	29.72	30878.20	1.03	31881.75	0.01	1.05	0.00000	0.04000
8	T.8 Trancura	896.33	35.00	31371.66	3.00	94114.97	0.03	0.31	0.00000	0.04000
9	T.9 E.S/N 2 B-13	1029.77	6.00	6178.62	0.45	2780.38	0.03	0.44	0.01155	0.04000
10	T.10 Maichin B-14	1875.39	46.00	86267.85	0.95	81954.45	0.02	1.15	0.00598	0.04000
11	T.11 Trancura	1398.69	25.50	35666.71	0.65	23183.36	0.01	1.95	0.00000	0.04000
12	T.12 tRancura	1206.78	15.25	18403.43	0.50	9201.72	0.00	4.23	0.01978	0.04000
13	T.13 Trancura	1307.12	10.13	13234.63	0.43	5624.72	0.00	7.50	0.00000	0.04000
14	T.14 Trancura	1521.78	7.56	11508.43	0.39	4459.52	0.00	11.02	0.00000	0.04000
15	T.15 Trancura	1284.44	6.28	8067.90	0.37	2975.04	0.00	13.94	0.00000	0.04000
16	T.16 Trancura	1200.22	5.64	6770.01	0.36	2432.97	0.00	15.93	0.00000	0.04000
17	T.17 Trancura	1005.09	5.32	5347.38	0.35	1896.65	0.00	17.11	0.00000	0.04000
18	T.18 Pangui B-15	1165.04	30.00	34951.27	0.90	31456.14	0.02	0.71	0.00000	0.04000
19	T.19 Trancura	1319.03	5.00	6595.17	0.35	2308.31	0.00	18.45	0.00000	0.04000
20	T.20 Trancura	1337.11	5.00	6685.55	0.35	2339.94	0.00	18.45	0.00000	0.04000
21	T.21 Trancura	1169.25	5.00	5846.26	0.35	2046.19	0.00	18.45	0.00000	0.04000
22	T.22 Trancura	1279.27	5.00	6396.33	0.35	2238.72	0.00	18.45	0.00000	0.04000
23	T.23 trancura	1388.87	5.00	6944.34	0.35	2430.52	0.00	18.45	0.00000	0.04000



24	T.24 Trancura	1265.12	5.00	6325.58	0.35	2213.95	0.00	18.45	0.00000	0.04000
25	T.25 Trancura	1345.97	5.00	6729.84	0.35	2355.45	0.00	18.45	0.00000	0.04000
26	T.26 Trancura	1231.83	5.00	6159.13	0.35	2155.70	0.00	18.45	0.00000	0.04000
27	T.27 Trancura	1379.85	5.00	6899.26	0.35	2414.74	0.00	18.45	0.00900	0.04000
28	T.28 Trancura	1568.28	5.00	7841.41	0.35	2744.49	0.00	18.45	0.00000	0.04000
29	T.29 Trancura	1256.13	5.00	6280.66	0.35	2198.23	0.00	18.45	0.00000	0.04000
30	T.30 Trancura	1722.47	5.00	8612.36	0.35	3014.32	0.00	18.45	0.00000	0.04000
31	T.31 Huililco B-11	1588.25	3.10	4923.59	0.43	2117.14	0.02	1.09	0.03438	0.04000
32	T.32 Hu P.Catripulli	740.59	3.10	2295.82	0.43	987.20	0.01	1.09	0.01439	0.04000
33	T.33 E. S/N 3	720.19	11.00	7922.14	0.68	5387.06	0.01	1.61	0.01439	0.04000
34	T.34 E/SN 4	773.31	11.00	8506.41	0.68	5784.36	0.01	1.61	0.01491	0.04000
35	T.35 E/SN 4 B-10	608.25	11.00	6690.74	0.68	4549.70	0.00	1.61	0.02086	0.04000
36	T.36E/SN4 P.Curarhue	254.12	13.00	3303.59	0.50	1651.80	0.00	1.86	0.00000	0.04000
37	T.37 E.Guampoe B-9	886.46	11.00	9751.07	0.68	6630.73	0.01	0.85	0.01243	0.04000
38	T.38 guampoe	326.92	2.00	653.83	0.85	555.76	0.00	3.73	0.00000	0.04000
39	T.39 R.Cavisai	1330.32	2.00	2660.65	0.85	2261.55	0.00	15.05	0.00000	0.04000
40	T.40 E.loncofila B-8	218.49	9.70	2119.36	0.98	2076.97	0.00	0.53	0.05144	0.04000
41	T.41Lonv P.Rinconada	1060.17	9.70	10283.65	0.98	10077.98	0.02	3.40	0.01086	0.04000
42	T.42 Cavisai	134.66	2.00	269.32	0.85	228.92	0.00	15.05	0.00000	0.04000
43	T.43 E,Maquina Q25	689.10	2.00	1378.20	0.85	1171.47	0.01	0.60	0.00000	0.04000
44	T.44 cavisai	1229.33	21.00	25815.87	0.90	23234.28	0.01	1.35	0.00942	0.04000
45	T.45 Q-8	849.77	3.40	2889.21	0.36	1040.12	0.02	0.64	0.00942	0.04000
46	T.46 Cavisai	1147.72	21.00	24102.20	0.90	21691.98	0.01	1.35	0.00000	0.04000
47	T.47 Q-7	758.13	4.00	3032.51	0.48	1455.60	0.01	0.92	0.00000	0.04000
48	T.48 Cavisai	483.70	21.00	10157.66	0.90	9141.89	0.00	1.35	0.00000	0.04000
49	T.49 E/SN 5 B-7	873.42	3.60	3144.31	0.37	1163.40	0.02	0.53	0.04279	0.04000
50	T.50 Cavisai	1204.46	21.00	25293.58	0.90	22764.22	0.01	1.35	0.00000	0.04000



51	T.51 Cavisai	1158.52	20.50	23749.72	1.11	26243.44	0.01	1.13	0.00981	0.04000
52	T.52 Vavisai	1173.21	12.75	14958.42	0.73	10882.25	0.00	2.76	0.00000	0.04000
53	T.53 Cavisai	1180.69	8.88	10478.65	0.54	5645.37	0.00	5.35	0.00000	0.04000
54	T.54 Cavisañi	1106.85	20.00	22136.90	1.31	28999.34	0.01	0.98	0.00000	0.04000
55	T.55 Cavisai	1353.77	20.00	27075.40	1.31	35468.77	0.02	0.98	0.00000	0.04000
56	T.56 Trancura	1151.23	5.00	5756.14	0.35	2014.65	0.00	18.45	0.00000	0.04000
57	T.57 Trancura	1704.05	5.00	8520.23	0.35	2982.08	0.00	18.45	0.00709	0.04000
58	T.58 Trancura	1141.03	5.00	5705.14	0.35	1996.80	0.00	18.45	0.00000	0.04000
59	T.59 Trancura	1045.87	5.00	5229.34	0.35	1830.27	0.00	18.45	0.00000	0.04000
60	T.60 Palgulil B-6	1226.23	39.00	47822.87	0.83	39597.34	0.01	1.39	0.00932	0.04000
61	T.61 Trancura	1286.54	5.00	6432.72	0.35	2251.45	0.00	18.45	0.00000	0.04000
62	T.62 Llafenco	618.38	7.70	4761.53	0.39	1857.00	0.01	1.24	0.00000	0.04000
63	T.63 Trancura	1303.17	5.00	6515.85	0.35	2280.55	0.00	18.45	0.00000	0.04000
64	T.64 Trancura	1349.81	5.00	6749.06	0.35	2362.17	0.00	18.45	0.00000	0.04000
65	T.65 Trancura	1300.94	5.00	6504.70	0.35	2276.64	0.00	18.45	0.00000	0.04000
66	T.66 Trancura	1362.50	5.00	6812.50	0.35	2384.37	0.00	18.45	0.00000	0.04000
67	T.67 Trancura	1100.52	5.00	5502.59	0.35	1925.91	0.00	18.45	0.00963	0.04000
68	T.68 Trancura	1337.83	5.00	6689.15	0.35	2341.20	0.00	18.45	0.00827	0.04000
69	T.69 Trancura	1176.02	5.00	5880.08	0.35	2058.03	0.00	18.45	0.00000	0.04000
70	T.70 trancura	1057.23	5.00	5286.15	0.35	1850.15	0.00	18.45	0.03000	0.04000
71	T.71 Trancura	1036.87	5.00	5184.33	0.35	1814.52	0.00	18.45	0.02971	0.04000
72	T.72 Trancura	1210.02	5.00	6050.12	0.35	2117.54	0.00	18.45	0.00000	0.04000
73	T.73 Trancura	1266.48	5.00	6332.39	0.35	2216.34	0.00	18.45	0.00980	0.04000
74	T.74 Trancura	1262.88	5.00	6314.42	0.35	2210.05	0.00	18.45	0.00943	0.04000
75	T.75 Trancura	1266.73	5.00	6333.64	0.35	2216.77	0.00	18.45	0.00953	0.04000
76	T.76 Trancura	803.98	5.00	4019.89	0.35	1406.96	0.00	18.45	0.01522	0.04000
77	T.77 Liucura B17	1430.46	17.10	24460.88	2.31	56504.64	0.01	1.43	-0.00752	0.04000



78	T.78 Quetreluf B-16	313.30	7.60	2381.09	0.30	714.33	0.00	0.93	0.00000	0.04000
79	T.79 Quetrolufu P. Caburguall	499.26	7.60	3794.38	0.30	1138.31	0.01	0.93	0.02189	0.04000
80	T.80 Quetrelufu P. Quetrolufu	487.89	7.60	3707.94	0.30	1112.38	0.01	0.93	0.00000	0.04000
81	T.81 Liucura	1011.60	40.78	41253.05	1.41	58166.80	0.01	0.98	0.00000	0.04000
82	T.82 Liucura	1052.18	40.78	42908.07	1.41	60500.38	0.01	0.98	0.00000	0.04000
83	T.83 Carhuello B-20	344.69	13.20	4549.91	0.67	3048.44	0.01	0.71	0.04888	0.04000
84	T.84 Carh P. Quimeycor	521.31	13.20	6881.26	0.67	4610.44	0.01	0.71	0.00000	0.04000
85	T.85 Carileufu P. Ojos del Caugua	237.63	13.20	3136.72	0.67	2101.60	0.00	0.71	0.00000	0.04000
86	T.86 P. Carileufu	225.13	13.20	2971.71	0.67	1991.04	0.00	0.71	0.00000	0.04000
87	T.87 E/SN 7 B-19	77.76	1.60	124.41	0.27	33.59	0.00	0.25	0.00000	0.04000
88	T.88 E/SN 7	85.21	1.60	136.34	0.27	36.81	0.00	0.25	0.00000	0.04000
89	T.89 Carileufu	348.18	13.20	4595.99	0.67	3079.31	0.32	0.01	0.03530	0.04000
90	T.90 R. Cabur B-20	88.88	42.00	3733.13	0.90	3359.81	0.00	0.50	0.12195	0.04000
91	T.91 P. Caburgua I	65.42	42.00	2747.44	0.90	2472.70	0.00	0.50	0.00000	0.04000
92	T.92 R. Caburgua	688.26	42.00	28907.05	0.90	26016.34	0.02	0.50	0.00000	0.04000
93	T.93 R. Caburgua	546.10	42.00	22936.15	0.90	20642.53	0.01	0.50	0.01989	0.04000
94	T.94 Liucura	1168.05	29.53	34486.56	1.25	42935.77	0.01	1.54	0.00000	0.04000
95	T.95 Liucura	1231.36	29.53	36355.83	1.25	45263.01	0.01	1.54	0.00000	0.04000
96	T.96 Liucura	1180.28	29.53	34847.90	1.25	43385.63	0.01	1.54	0.00000	0.04000
97	T.97 Liucura	1150.45	29.53	33967.12	1.25	42289.07	0.01	1.54	0.00000	0.04000
98	T.98 Liucura	1194.76	29.53	35275.25	1.25	43917.69	0.01	1.54	0.00000	0.04000
99	T.99 Liucura	1232.59	29.53	36392.10	1.25	45308.16	0.01	1.54	0.00973	0.04000
100	T.100 Liucura	1349.65	29.53	39848.30	1.25	49611.13	0.01	1.54	0.00812	0.04000
101	T.101 Trancuro	1305.17	60.00	78310.14	1.75	137042.7 5	0.05	0.31	0.01895	0.04000



102	T.102 Turbio B-5	2653.86	17.00	45115.55	0.70	31580.89	0.03	1.11	0.02445	0.04000
103	T.103 Trancura	1943.66	60.00	116619.3 3	1.75	204083.8 3	0.07	0.31	0.00629	0.04000
104	T.104 Trancura	186.10	60.00	11166.02	1.75	19540.54	0.01	0.31	0.00000	0.04000
105	T.105 Trancura	940.50	60.00	56430.24	1.75	98752.92	0.04	0.31	0.00000	0.04000
106	T.106 Trancura	1276.24	60.00	76574.66	1.75	134005.6 6	0.05	0.31	0.01062	0.04000
107	T.107 Trancura	1051.41	60.00	63084.59	1.75	110398.0 3	0.04	0.31	0.01062	0.04000
108	T.108 Plata	933.19	4.40	4106.02	0.38	1560.29	0.00	0.00	0.01311	0.04000
109	T.109 Trancura	1449.46	60.00	86967.45	1.75	152193.0 3	0.05	0.31	0.00000	0.04000
110	T.110 La Casilla	797.50	1.20	957.00	0.35	334.95	0.00	0.00	0.05810	0.04000
111	T.111 Trancura	908.13	60.00	54487.96	1.75	95353.93	0.03	0.31	0.00000	0.04000
112	T.112 Trancura	1222.35	60.00	73340.81	1.75	128346.4 2	0.05	0.31	0.00000	0.04000
113	T.113 Trancura	2275.01	60.00	136500.7 4	1.75	238876.3 0	0.09	0.31	0.00000	0.04000
114	T.114 Trancura	2525.49	60.00	151529.5 0	1.75	265176.6 3	0.10	0.31	0.00425	0.04000
115	T.115 Rio claro	587.42	13.00	7636.45	0.28	2138.21	0.00	0.00	0.00425	0.04000
116	T.116 Ptas Pucon	721.17	13.00	9375.25	0.28	2625.07	0.00	0.00	0.00869	0.04000
117	T.117 Trancura	933.07	60.00	55984.36	1.75	97972.62	0.04	0.31	0.00000	0.04000
118	T.118 Trancura	935.69	60.00	56141.68	1.75	98247.95	0.04	0.31	0.00000	0.04000



15. ANEXO 6. Certificados de Acreditación

ANEXO 6



acreditación



El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

ANALISIS AMBIENTALES S.A., ANAM S.A.

AREA LOGISTICA Y MUESTREO

ubicado en Av. Américo Vespucio N°451, Quilicura, Santiago

ha renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, como

Laboratorio de Ensayo

según NCh-ISO 17025.Of2005

en el área Microbiología y muestreo para aguas, con el alcance indicado en anexo.

Primera acreditación: Desde el 30 de Junio de 2003,

Vigencia de la Acreditación: hasta el 3 de abril de 2021

Santiago de Chile, 9 de marzo de 2018

Eduardo Ceballos Osorio
Jefe de División Acreditación

Sergio Toro Galleguillos
Director Ejecutivo



ACREDITACION LE 111

F407-01-30 v01

LAS CONDICIONES BAJO LAS CUALES RIGE ESTA ACREDITACIÓN ESTAN DETALLADAS EN EL ACTA DE COMPROMISO



El Instituto Nacional de Normalización, INN, certifica que:

ANALISIS AMBIENTALES S.A., ANAM S.A.

**LABORATORIO CENTRAL – SANTIAGO Y
AREA LOGISTICA Y MUESTREO**

ubicado en Av. Américo Vespucio N°451, Quilicura, Santiago

ha renovado su acreditación en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, como

Laboratorio de Ensayo

según NCh-ISO 17025.Of2005

en el área Físico-química y muestreo para aguas, con el alcance indicado en anexo.

Primera acreditación: Desde el 30 de Junio de 2003,

Vigencia de la Acreditación: hasta el 3 de abril de 2021

Santiago de Chile, 9 de marzo de 2018

Eduardo Ceballos Osorio
Jefe de División Acreditación

Sergio Toro Galleguillos
Director Ejecutivo



ACREDITACION LE 112