

000480

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 | NT | PT | NT | PT | NT |
| | (ton/año) | (ton/año) | (ton/año) | (ton/año) | (ton/año) | (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.



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

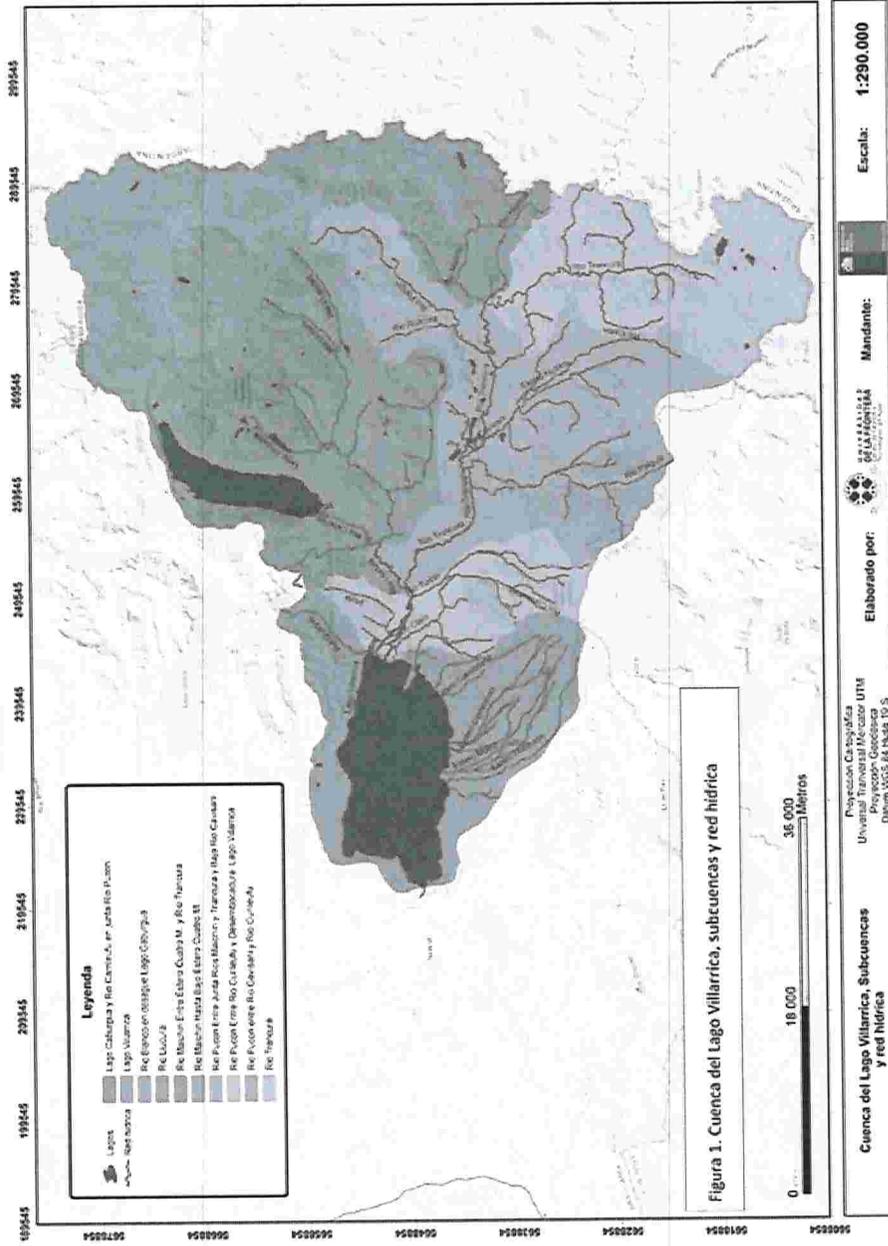


Figura 1. Cuenca del Lago Villarrica, subcuencas y red hídrica (Elaboración propia).

Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

000486

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 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 los 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. Muestreos 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 | |

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 medias 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).

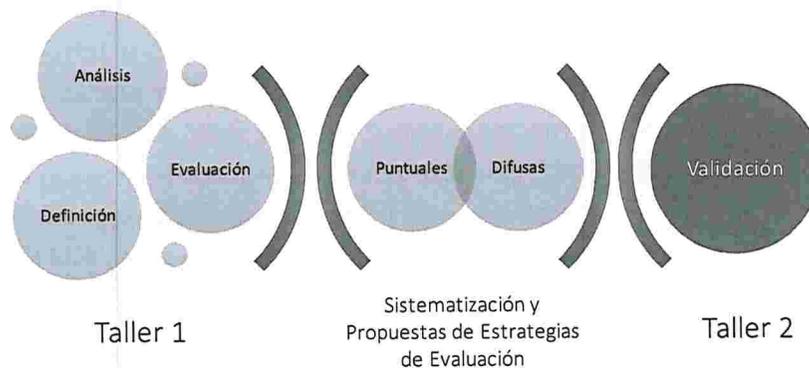


Figura 4. Resumen de proceso para levantamiento, sistematización y validación de medidas para el Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

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.

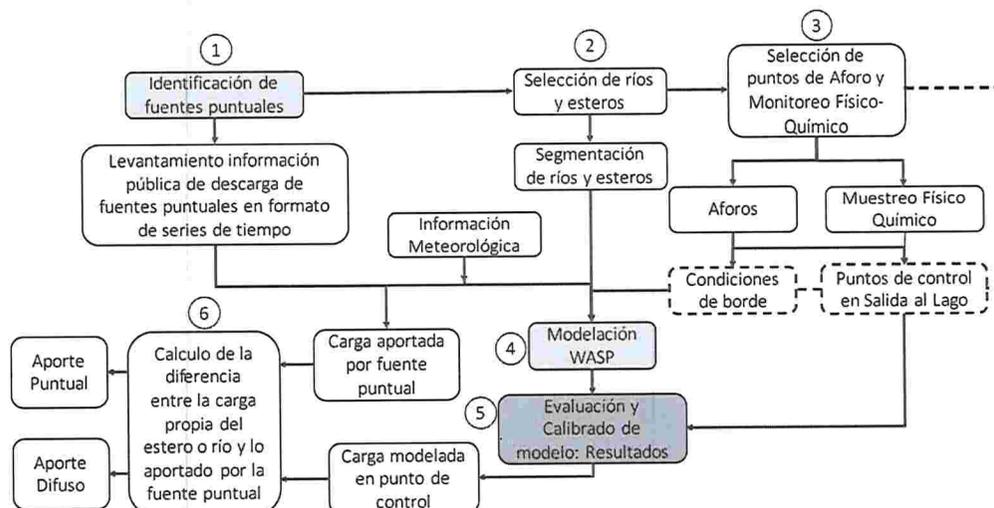


Figura 6. Esquema del proceso utilizado para modelar el transporte de nutrientes en ríos y esteros utilizando el software US EPA WASP (Elaboración propia).

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 Suspendidos) 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**.

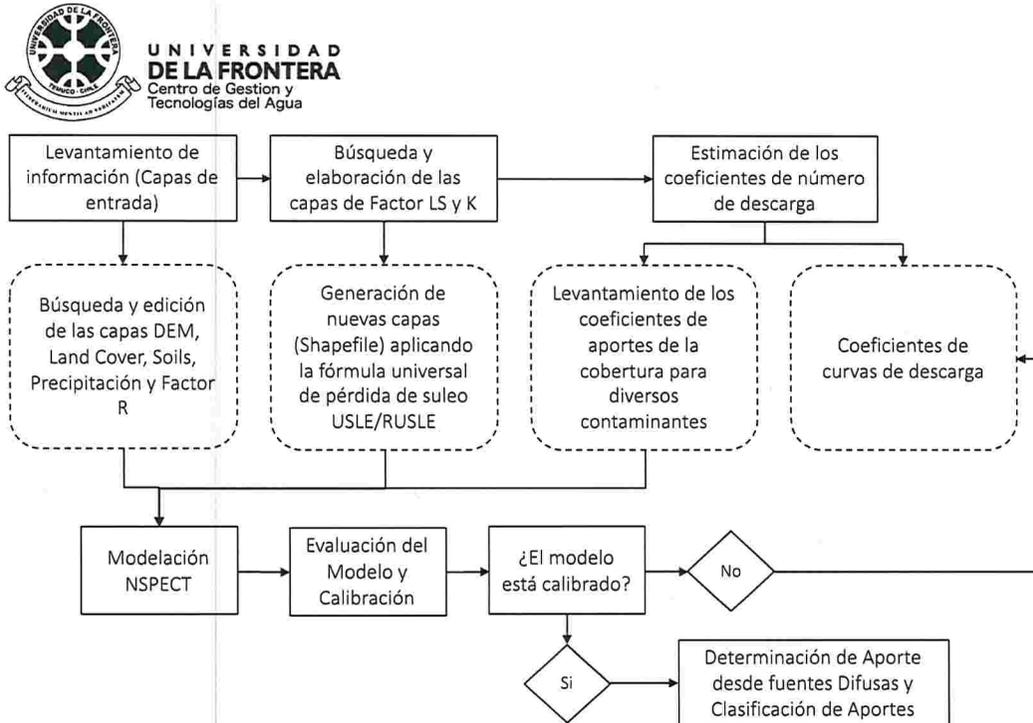


Figura 7. Esquema del proceso utilizado para modelar el transporte de nutrientes desde fuentes difusas utilizando el software N-SPECT (Elaboración propia).

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.

000499



**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 polilíneal 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 Fantasia | 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. | Loncostrarro | 234923 | 5644894 | Si | 1992 |
| 2877 | 90112 | P4 | Soc. Comercial Agrícola y Forestal Nalcahue Ltda. | Cehuico | 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 | Piscicola Huillico Ltda. | Ojos del Caburgua | 255325 | 5652759 | Si | 1996 |
| 322 | 90145 | P9 | Enrique Castillo Colihueque | Carileufu | 255295 | 5652547 | No | 2011 |
| 114 | 90068 | P10 | Pacific Star / Trusal S.A. | Quimeyco | 254660 | 5652757 | Si | 2000 |
| 4495 | 90118 | P11 | Exportadora Los Fiordos Ltda | Curarrehue | 268561 | 5637590 | Si | 1989 |
| 4495 | 90062 | P12 | Exportadora Los Fiordos Ltda | Catrupulli | 269148 | 5636423 | Si | 1997 |
| 2854 | 90064 | P13 | Inversiones Selknam SPA | Rinconada | 267034 | 5637473 | No | 1997 |
| - | 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 período.

(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 Terna (t,yz) | 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 Licura | 259211 | 5650763 | Si | Pucón | 29 | S/I |
| 7 | T7 | Termas de Minetú | 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) |

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').

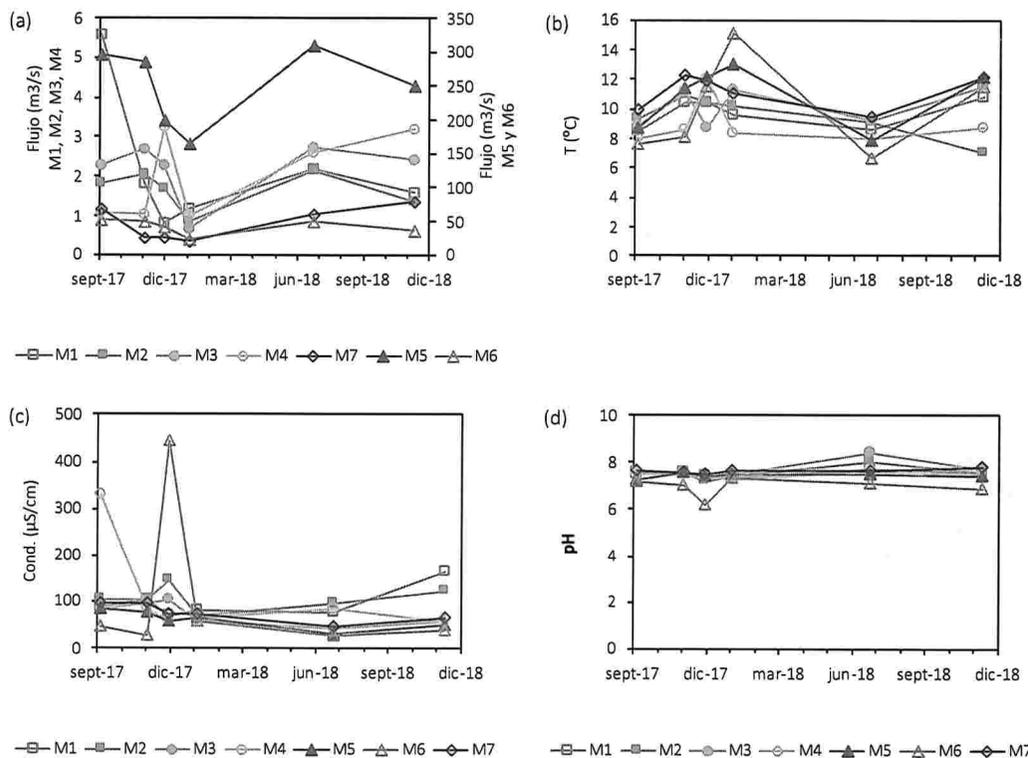


Figura 10. Tendencias de (a) Flujos, (b) Temperatura, (c) Conductividad y (d) pH medidos en puntos de muestreo tipo M.

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. Cheuilco 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.

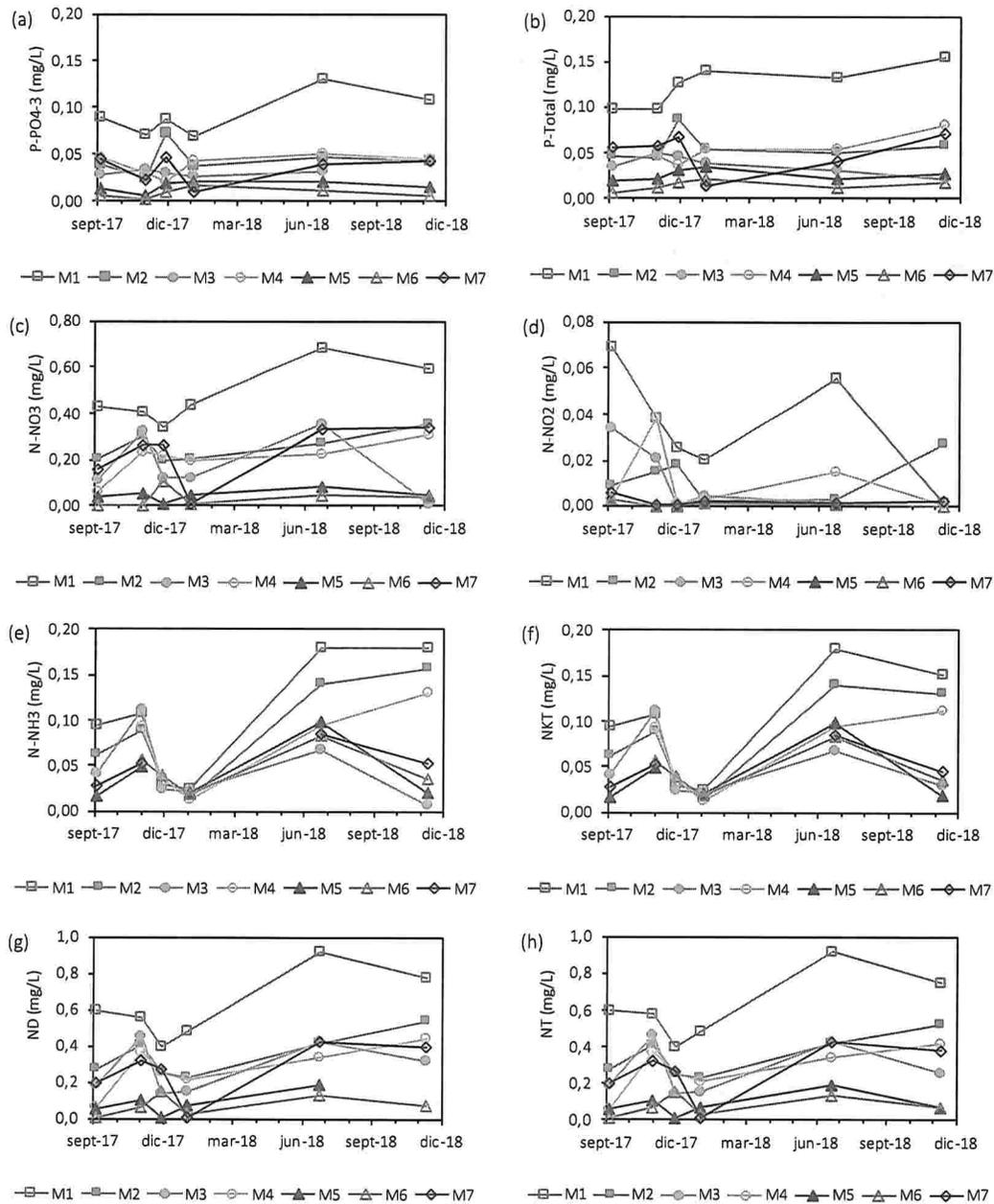


Figura 11. Tendencias de concentración en puntos de muestreo tipo “M”, correspondientes a ríos y esteros con descarga directa al Lago Villarrica, a excepción del punto M6 que corresponde a un punto aguas abajo de Curarrehue.

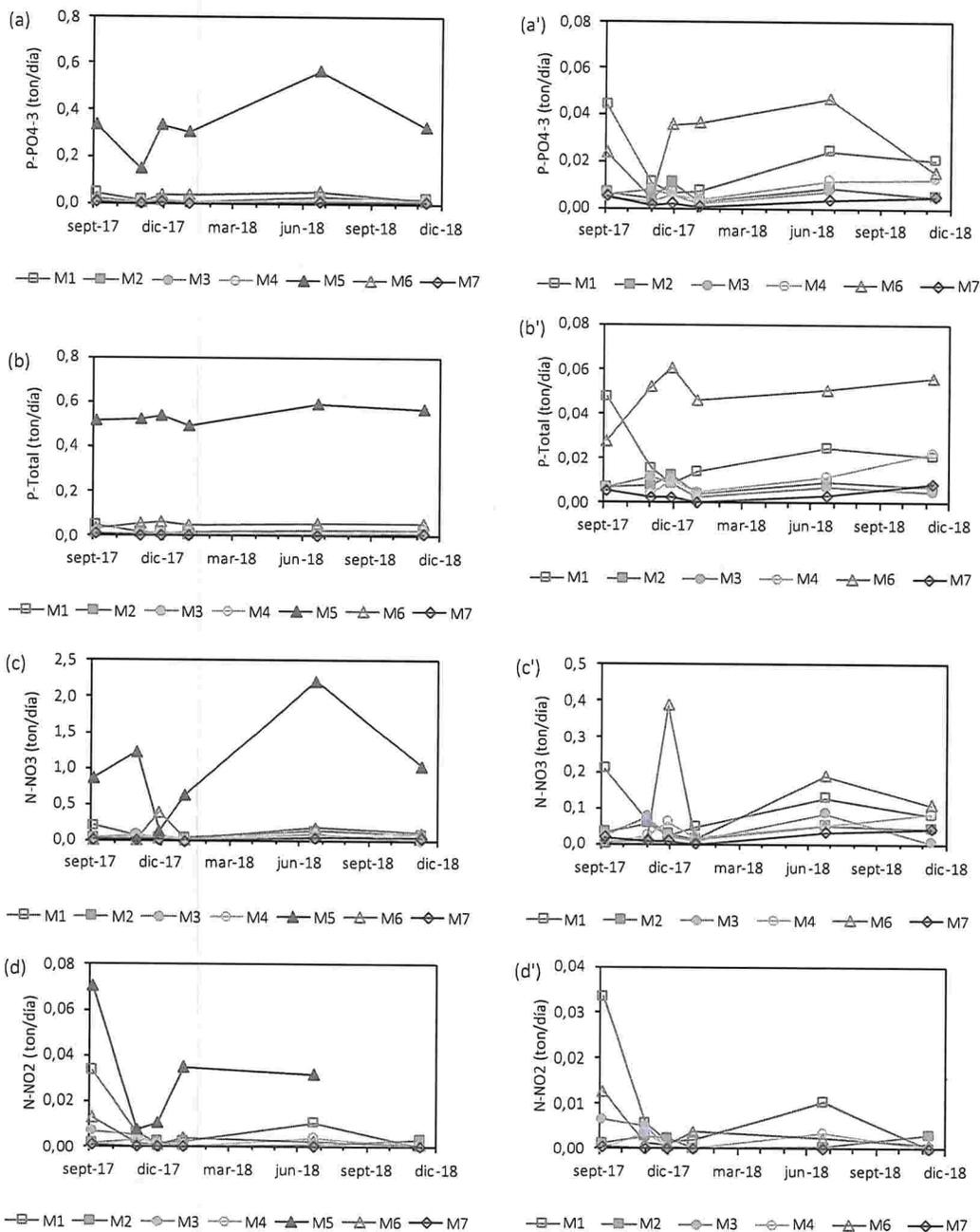
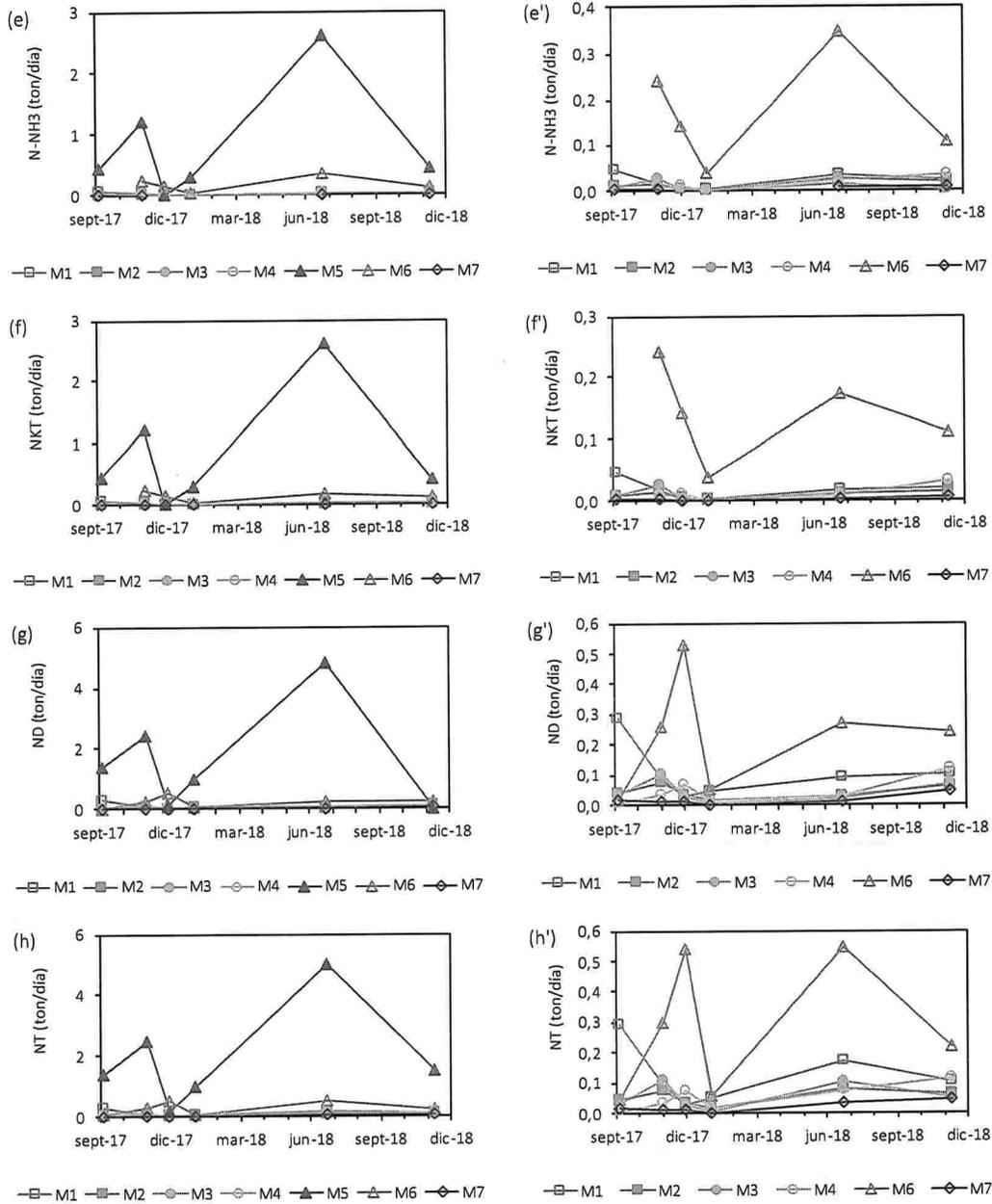


Figura 12. Tendencias de la carga de nutrientes en puntos de muestreo tipo "M", correspondientes a ríos y esteros con descarga directa al Lago Villarrica, a excepción del punto M6 que corresponde a un punto aguas abajo de Curarrehue.



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.



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFR0 (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) | Nitrato [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 | 0.180 | 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-UJRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

| Punto | Fecha | Flow (m ³ /s) | T (°C) | pH | Cond. (µS/cm) | DO (ppm) | Fósforo | | Nitrato [NO ₃] (mg/L) | Nitrito [NO ₂] (mg/L) | Nitrógeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) | Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) | Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L) | Nitrógeno Total [NT] (mg/L) | Clorofila a (ug/L) |
|-------|-----------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|--------------|--|-----------------------|---|---|--|---|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | | | | | | Disuelto [P-PO ₄ -3] (mg/L) | Total. [PT] (mg/L) | | | | | | | |
| | 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 | - |
| M-4 | 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 |
| | 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 | - |
| M-5 | 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 |
| | 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 | - |
| M-6 | 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 |



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA
Centro de Gestión y
Tecnologías del Agua

Continuación de Tabla 7. Parámetros físico-químicos, continuación de muestreo según MMA-UFR0 (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) | Nitrato [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) |
|-------|-----------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|-------------|--|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| | 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 | - |
| M-7 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-1 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-2 | 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) | Nitrato [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) |
|------------|-----------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|-------------|--|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-3 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-4 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-5 | 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-UFR0 (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) |
|------------|-----------------|--------------------------|--------------|-------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-6 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-7 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-8 | 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-UFR (2018). Nuevos muestreos en negrita.

| Punto | Fecha | Flow (m ³ /s) | T (°C) | pH | Cond. (µS/cm) | DO (ppm) | Fósforo | | Nitrato [NO ₃] (mg/L) | Nitrito [NO ₂] (mg/L) | Nitrogeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) | Nitrogeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) | Nitrogeno Disuelto [ND] (mg/L) | Nitrogeno Total [NT] (mg/L) | Clorofila a (µg/L) |
|-------------|-----------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|--------------|---------------------------------|----------------------|---|---|--|---|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | | | | | | | Disuelto [P-PO4-3] (mg/L) | Total [PT] (mg/L) | | | | | | | |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-9 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-10 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-11 | 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-UFR0 (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) | Nitrato [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) |
|-------------|-----------------|-----------------------------|--------------|-------------|------------------|--------------|--|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|---|---|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-12 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-13 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-14 | 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 MIMA-UFRRO (2018). Nuevos muestreos en negrita.

| Punto | Fecha | Flow (m ³ /s) | T (°C) | pH | Cond. (µS/cm) | DO (ppm) | Fósforo | | Nitrato [NO ₃] (mg/L) | Nitrito [NO ₂] (mg/L) | Nitrogeno Amoniacal [N-NH ₃] (mg/L) | Nitrogeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L) | Nitrogeno Disuelto [ND] (mg/L) | Nitrogeno Total [NT] (mg/L) | Clorofila a (µg/L) |
|-------------|-----------------|--------------------------|--------------|-------------|---------------|--------------|---------------------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Disuelto [P-P04-3] (mg/L) | Total [PT] (mg/L) | | | | | | | |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-15 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-16 | 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 |
| | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-17 | 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) | 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) |
|-------------|-----------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| | 26-09-17 | 0.05 | 9.92 | 7.20 | 78.00 | 7.80 | 0.016 | 0.021 | 0.584 | 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 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-19 | 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 | 0.234 | 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 | 0.015 | 0.127 | 0.130 | <0.02 |
| | 26-09-17 | 8.93 | 8.96 | 7.67 | 59.00 | 9.74 | 0.013 | 0.018 | 0.095 | 0.007 | <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 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-20 | 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 | 0.109 | 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 | 0.025 | 0.065 | 0.070 | <0.02 |
| | 26-09-17 | 0.03 | 9.93 | 7.22 | 104.00 | 9.31 | 0.053 | 0.058 | 1.806 | 0.007 | <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 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| B-21 | 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 | 0.458 | 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 | 0.026 | 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 | | | NA (cálculo) | |
| | 23-01-2018 | 20.19 | | | | |
| | 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 | 255357 | 5652953 |
| | | 18-12-2018 | | |
| 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 |

000523



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 |
| Quirney-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 Nitrato [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) | | | | 43 | 71 | 0.4 | 29.700 |
| Puntilla (río Carhuello) | 23-10-2018 | 254513 | 5652225 | 20 | 21.4 | 0.31 | 6.640 |

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

000527



**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 |

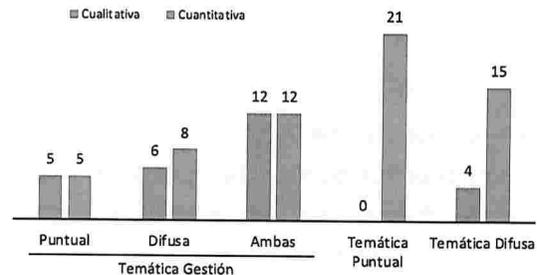


Figura 13. Distribución de medidas.

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 |

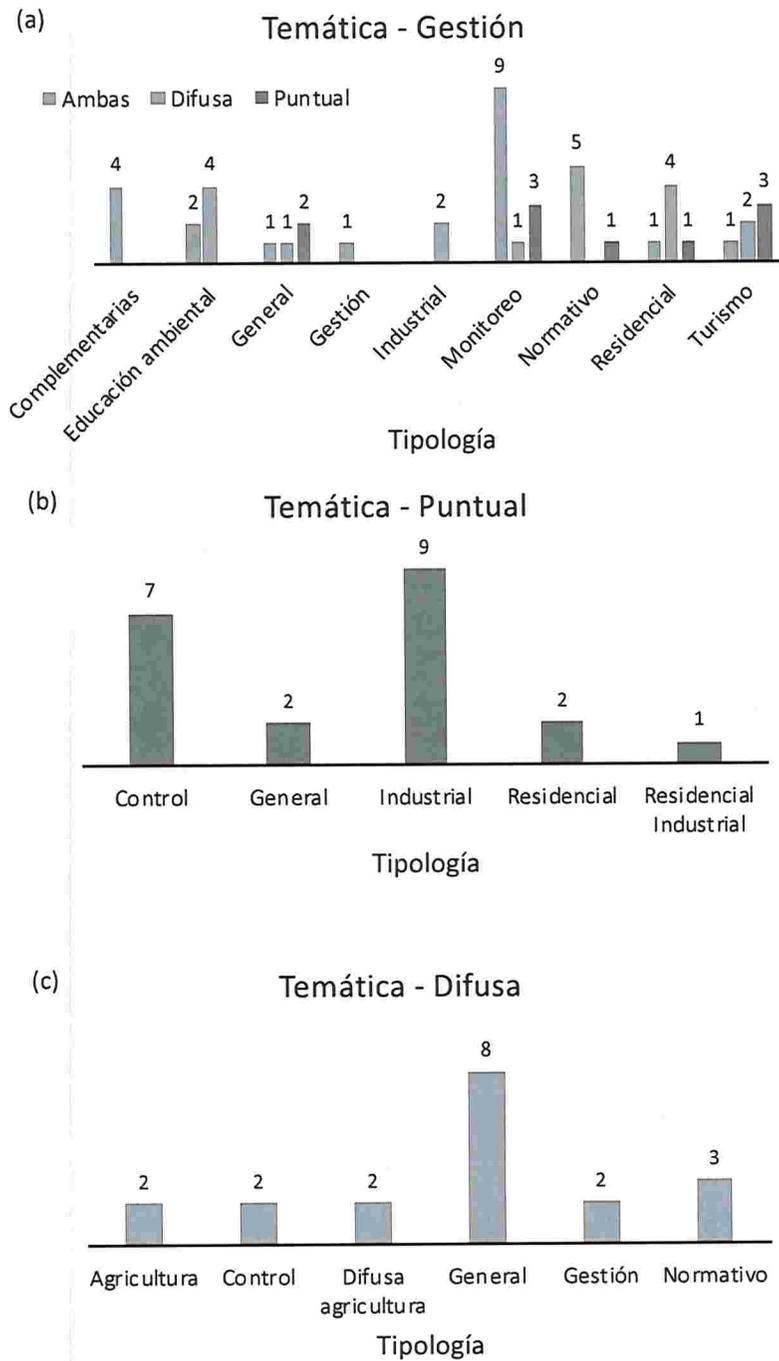


Figura 14. Clasificación según tipología para las temáticas de (a) Gestión, (b) Puntual y (c) Difusa.



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.

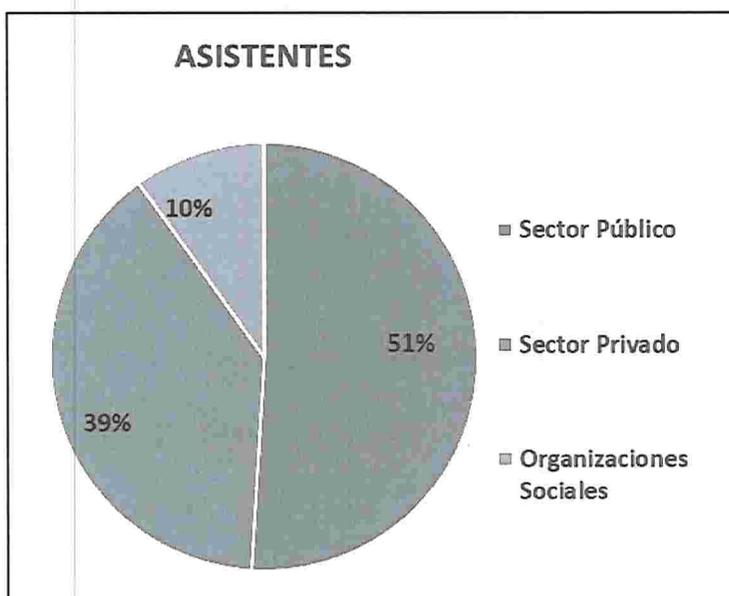


Figura 15. Distribución general por grupos de interés en el Taller1.

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.

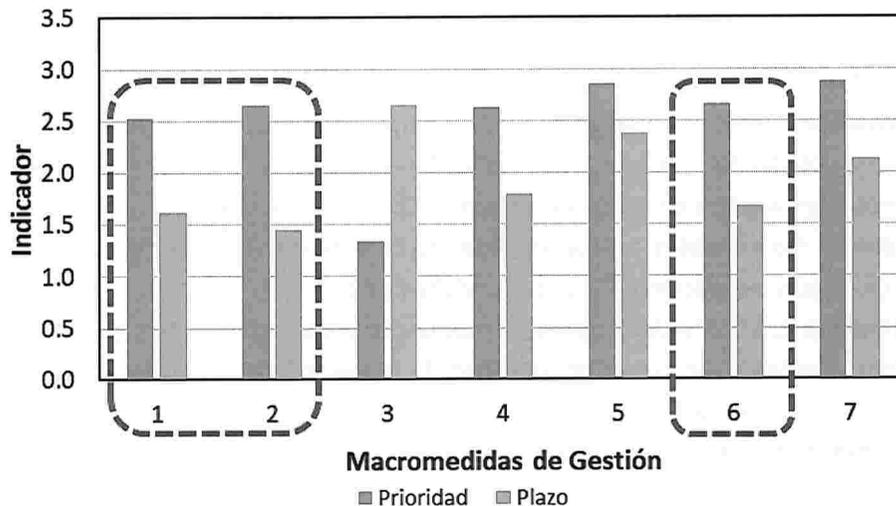


Figura 16. Macromedidas de Gestión, en rojo se resaltaron las más significativas.

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 | 4 | Plataforma única de monitoreo de calidad de agua disponible a la ciudadanía | -Fundamentos para evaluar, mejorar, proyectos, casos futuros. |

000536

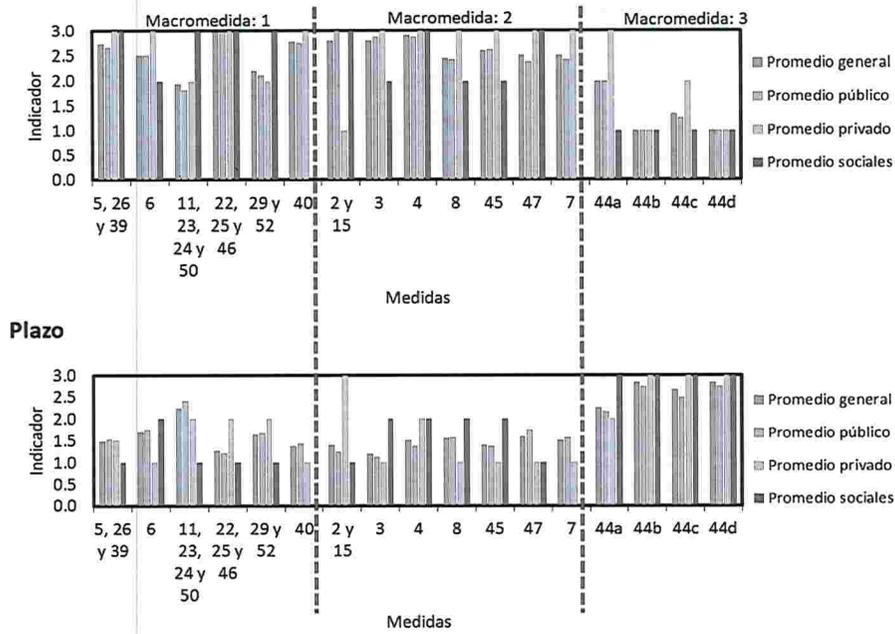


Continuación de Tabla 18. Macromedidas y medidas más relevantes en la temática Gestión.

| 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. |



(a) **Prioridad**



(b)

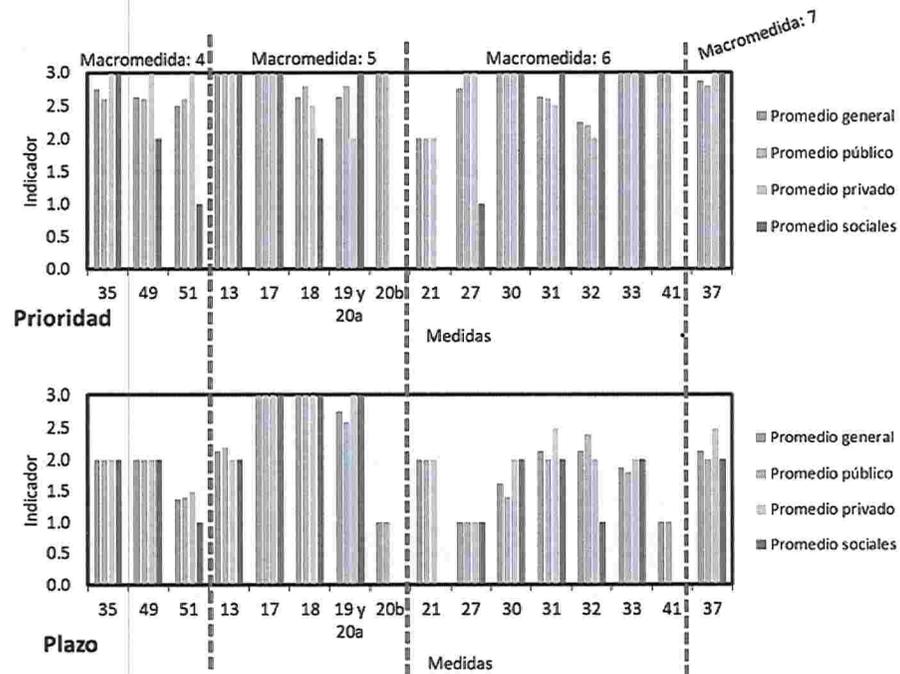


Figura 17. Medidas de Gestión por grupos (a) Macromedidas 1 a 3 y (b) Macromedidas 4 a 7, según código identificador (id) con detalle del promedio general y de los promedios según sectores.

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).

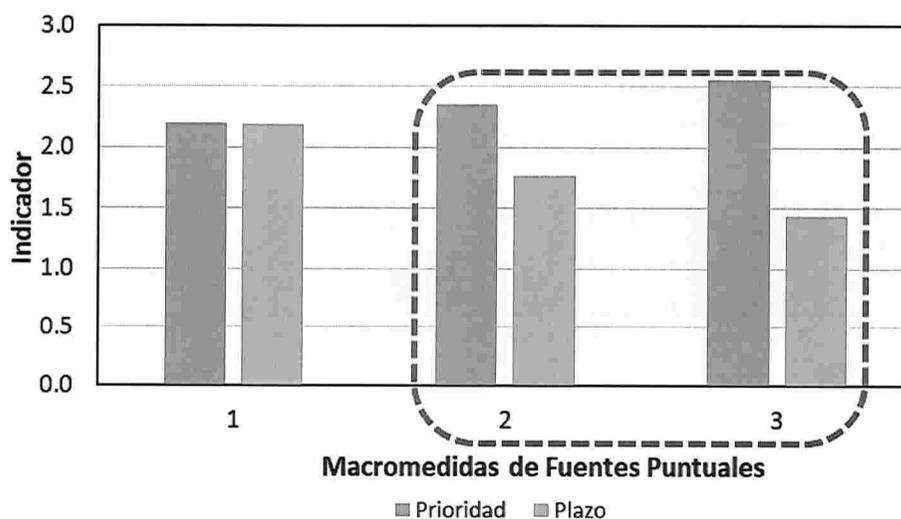


Figura 18. Macromedidas de Fuentes Puntuales, en rojo se resaltaron las más significativas.



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 hidroclórico o sulfúrico (NaOH) y Sulfuro sódico. | Ninguna |
| | 34 | Tratamiento de aguas residuales de descargas en el entorno del Lago (canales urbanos y tuberías). | Ninguna |

000540

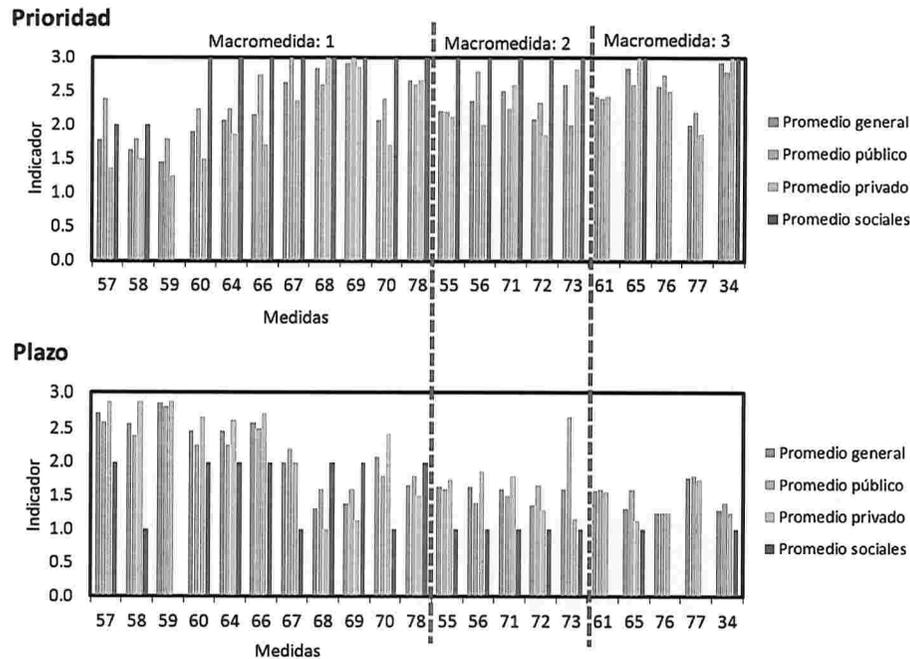


Figura 19. Medidas de Fuentes Puntuales por grupos Macromedidas 1 a 3, según código identificador (id) y promedios según sectores. Elaboración propia.

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.

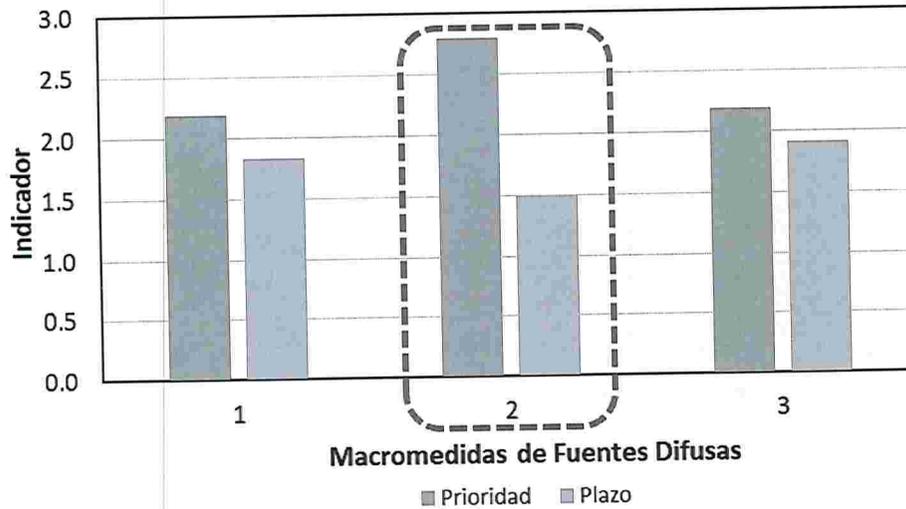


Figura 20. Macromedidas de Fuentes Difusas, en rojo se resaltaron las más significativas.



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. |

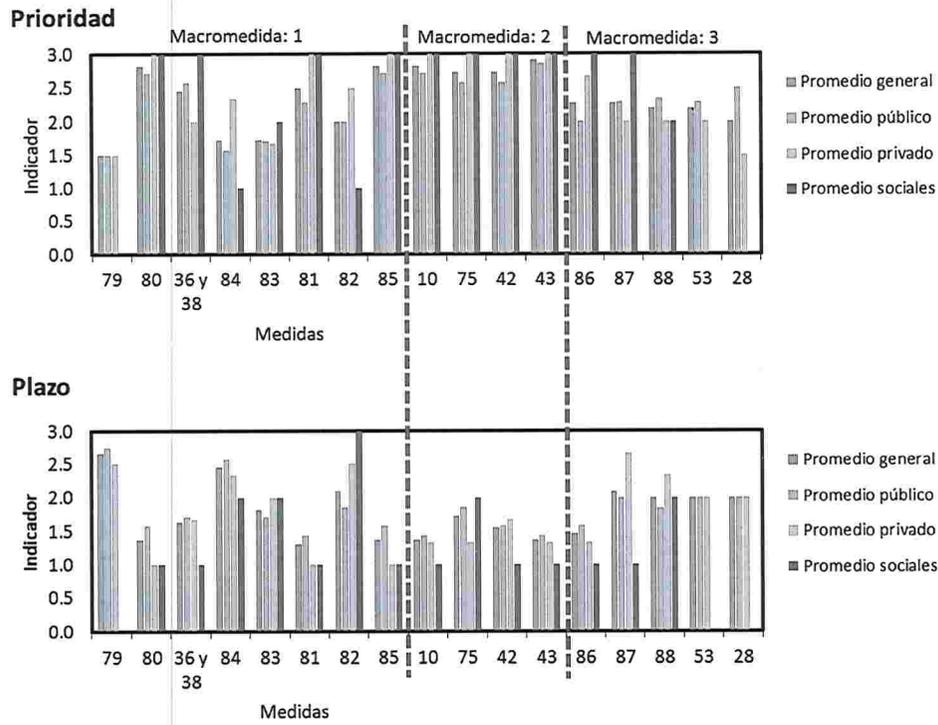


Figura 21. Medidas de Fuentes Difusas por grupos Macromedidas 1 a 3, según código identificador (id) y promedios según sectores.

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 | Prioridad medida | | Prioridad macro medida | | Observaciones | |
|---|--|--|---|---------|---------|----------------|------------------------------|---------------------|------------------|--------|------------------------|--------|---|---|
| | | | | | | | | | Prioridad | Plazos | Prioridad | Plazos | | |
| | | | | | | | | | | | | | (1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales | |
| | | | | | | | | | | | | | (35) Nicolás Arriagada Méndez; (36) Lily Romo Carda; (37) Andrea Flores; (38) Bárbara Cisternas; (39) Gabriela Carrillo Valenzuela; (40) Esteban Ramírez; (41) Pablo Salazar; (42) Claudio Navarro; (43) Francisco Cusumá; (44) Juan Pino | |
| 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. | 5, 26 y 39 | (5) Análisis de la reglamentación vigente en Chile para Planes de Descarbonización "aplicados a lagos" (comparación con aplicación en aire); (6) 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 | | | (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/traspases. 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 eutrofia disueltos 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 propulsores 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 poca 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 requerimientos 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 | | | | (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 | | | | (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 | | | | (38) Evaluar a través de las cadenas productivas de CO ₂ ; (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 | | | | (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 | | | | (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 | | | | (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 | | | | (36) Misma ID 3; (15) Estandarizar calibración |
| | 45 | Implementar bots telemétricos de medición de Clorofila "a". | Informe Claudia Espinoza (MMA) | 2017 | 79 | Puntual | Cualitativa | Monitoreo | 2.60 | 1.40 | | | | (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 | | | | (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 | | | | | |
| 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 (Acto, 2018). | | | | | | 2.00 | 2.25 | | | | (13) Nada de biomaniplulación sin entendimiento de la dinámica del lago; (15) Nada de vertimientos y/o adiciones de cualquier tipo de material al lago. | |
| | 44b | Biomaniplulación 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 (MMA) | 2017 | 78 | Ambas | Cuantitativa | Complementarias | 1.00 | 2.83 | 1.33 | 2.65 | (13) Nada de biomaniplulación 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 | | | | (13) Nada de biomaniplulación sin entendimiento de la dinámica del lago; (5) Propongo adicionar arcillas modificadas; (45) No es necesario, muy lejos de lo que se busca. | |
| | 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 | | | | (13) Nada de biomaniplulación sin entendimiento de la dinámica del lago. | |

| Medida agrupada | ID medidas | Medida | Fuente de Información | Año | Página | Tipo de fuente | Cualitativas / Cuantitativas | Tipo de medida | Evaluado medida | | Evaluado macro-medida | | Observaciones |
|---|------------|--|---|------|--------|----------------|------------------------------|---------------------|-----------------|------|-----------------------|------|---|
| | | | | | | | | | Prioridad | Peso | Prioridad | Peso | |
| | | | | | | | | | | | | | (1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales |
| | | | | | | | | | | | | | (20) Alejandra Albitajan; (30) Rocío Toro; (41) Carolina Hazard; (46) Marcela Rivero; (24) Cien Rodríguez; (42) Mónica Pinaud; (20) María Teresa Castro |
| 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 | | | (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 + impls de la cuenca en priorización y conservación, estado vegetación ripariana, calidad de aguas. Rocío 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, parámetros 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 pts... monitorear |
| | 49 | Estimar la capacidad de carga de la cuenca (total) | Estudio UCT | 2012 | 96 | Ambas | Cualitativa | Monitoreo | 2.63 | 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; María Teresa y Mónica dicen q es necesario 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) + porreferenciación . | UDD | 2016 | 44-45 | Difusa | Cualitativa | Monitoreo | 2.50 | 1.38 | | | IDAP y SAG (muni Pucón), como insumo necesario para poder desarrollar el PDA. Posible incorporar la materia orgánica disuelta (dice q falta Esse) de origen antropico y natural. Solicitar el tipo de agroecos y concentraciones de aplicación: a nivel subcuenca. Que el servicio implicado monitoree, sean rigurosos con la info, mantener registros actualizados y + precios. 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 | | | (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; (Rocío Toro) Pensar medida y responsable-> poner subsidio xa 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 (= permianencial, 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 | 2.85 | 2.38 | (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 lluvias | Informe Claudia Espinoza (MMA) | 2017 | 77 | Difusa | Cuantitativa | Residencial | 2.63 | 2.75 | | | (39) Implementar colectores de aguas lluvias; Implementación colector de aguas lluvias, en sistemas interurbanos pucón y villarrica (alcantarillado en la 17 y 18) |
| | 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 D5 [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 institucional, 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 | | | (20) Sello a empresas y comercio, donde se informe a los turistas que prefieren 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 pa 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 Medio Ambiente hace seguimiento, Fusonar 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; (40) 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; Rocío propone dividir en 30a y 20b, una educac formal en colegios (Inclusión en el PADEM y SNAE 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 APU 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 1°seminario 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 continúa paga. No a las compensaciones; (39) Para proyectos evaluados en el SEA, incorporar /lmetre para compensar; Aplicar las compensación de emisiones + multa cuando una contaminación (Moni), Alejandra propone no compensar pa igual se contamina. Rocío dice dejarlo para piscicultu y PTAS (xa proys a evaluar en el SEA), poner compensación y un instrumento 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 1°seminario 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 | Rocío propone que lavanderías y hoteles que usen esos detergentes y vayan asociados al sello verde ambiental [medida 31] |

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

| Medida agrupada | ID medidas | Medida | Fuente de información | Año | Página | Tipo de fuente | Cuantitativas / Cualitativas | 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 | (2) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales (4) Ricardo López; (25) Juan Manuel Toro; (24) Rodrigo Torrijos; (31) Francisco Lobos; (47) Jose Luis Rodríguez; (35) Rodrigo Fuentes; (23) Felipe Parede; (14) Luis Muñoz; (10) Carol Fernandez; (17/18) Ingrid Suarez/M. Schulz; (37) Gabriel Gavilán; (26) Alejandra Bejczak; (33) Marily Flores; (7) German Mallig (4) Desconocimiento de aplicabilidad en forma industrial; (47) Falta información con respecto a la eficiencia de un tratamiento como este aplicado al río de una piscicultura; (33) Inviabile hasta conocer un pilotaje; (14) Sistema sin mucho sustento técnico para decidir. Horas de irradiación, temperatura, inhibidores y por sobre todo, cargas hidráulicas son claves para siquiera evaluar viabilidad. (4/25) Requerrá 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 mantenimiento. (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. (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. (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. (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. |
| | 58 | Pisciculturas: utilización de humedales artificiales | UFRO | 2018 | 106 | Puntual | Cuantitativa | Industrial | 1.64 | 3.00 | | | |
| | 59 | Pisciculturas: utilización de membranas | UFRO | 2018 | 108 | Puntual | Cuantitativa | Industrial | 1.46 | 3.00 | | | |
| | 60, 64 y 66 | (60) Establecer un límite máximo de recirculación de agua. Esta medida fue incorporada en la legislación europea (SustainAqua, 2009), forzando a las empresas acuícolas a implementar tecnologías que permiten el <u>reutilizamiento del agua</u> , 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 <u>flujos abiertos a recirculación de agua</u> , 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) Informe Claudia Espinoza (MMA) | 2017 | 76 | Puntual | Cuantitativa | Control Industrial | 2.05 | 2.50 | | | |
| | 67 | Evaluar la asignación de cargas de emisión (TMA) para las pisciculturas de la subcuenca Puzon | Estudio UCT | 2012 | 98 | Puntual | Cuantitativa | Control | 2.64 | 2.64 | | | |
| | 68 | Las pisciculturas en tierra deben disponer de sistemas para reducir la cantidad de <u>sólidos suspendidos</u> en sus descargas (plantas de decantación y/o filtros rotatorios, las cuales tienen una eficiencia de al menos un 80%) | UACH | 2009 | 11 | Puntual | Cuantitativa | Industrial | 2.85 | 2.85 | | | |
| | 69 | Homogeneizar los <u>procesos</u> de cultivo de la <u>manera más eficiente y ambientalmente amigable</u> 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 | | | |
| | 70 | Establecer <u>condiciones mínimas</u> 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 | | | |
| | 78 | Herramientas o incentivos para el <u>uso de los efluentes de pisciculturas</u> tales como cultivo de vegetales que utilicen los nutrientes para su producción. | Informe Claudia Espinoza | 2017 | 76 | Puntual | Cuantitativa | | 2.67 | 2.67 | | | |
| | 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 <u>multas</u> 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 |
| 56 | | Establecer un <u>límite de carga</u> de nutriente diaria o mensual en base a la producción anual de las pisciculturas. Esta carga máxima para las pisciculturas debería 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 | | | |
| 71 | | Modificar número de <u>parámetros y LD</u> de reportes de pisciculturas (SNIFA) por Decreto. | NUEVA | NUEVA | NUEVA | Puntual | Cuantitativa | Control | 2.50 | 1.60 | | | |
| 72 | | Se debe mejorar la <u>fiscalización</u> 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 | | | |
| 73 | | Establecer menores <u>límites de detección</u> 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 | | | |

| Medida agrupada | ID medidas | Medida | Fuente de Información | Año | Página | Tipo de fuente | Cualitativo / Cuantitativo | Tipo de medida | Promedio medidas | | Promedio prioridades | | Observaciones |
|---|------------|---|--------------------------------|------|--------|----------------|----------------------------|------------------------|------------------|--------|----------------------|--------|--|
| | | | | | | | | | Prioridad | Puntos | Prioridad | Puntos | |
| Implementación de mejoras a las PTAS existentes e instalación de PTAS en urbanes que no la poseen | 61 | Tecnologías de abalimientio: Planta de Tratamiento de Aguas servidas de Pucón Lodos activados con un flujo continuo del efluente + precipitación fisicoquímica que promueve 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 $P < 1 \text{ mg/l}$. | Informe Claudia Espinoza (MMA) | 2017 | 73 | Puntual | Cuantitativa | Residencial | 2.42 | 1.56 | 2.56 | 1.44 | (1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales (4) Encarso Lopez; (47) Juan Williams; (50); (54) Rodrigo Torres; (57) Francisco Lobos; (47) Jose Luis Rodriguez; (85) Rodrigo Fuentes; (132) Felipe Pereda; (14) Luis Muñoz; (10) Carol Fernandez; (127/13) Ingrid Suarez/M. Schultz; (37) Gabriel |
| | 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 hidrodórico o sulfúrico (HNO_3) 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 (Chicom 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 | |
| | | | | | | | | | | | | | (1) Organismo público; (2) Organismo privado; (3) Organizaciones sociales |
| | | | | | | | | | | | | | (48) Marcelo Santos; (09) Nicolás Sáñiz; (23) Francisco Hernández; (19) Denise Glinere; (7) Sergio Morales Sáez; (3) Gustavo Ciudad; (6) Roberto Moreno; (8) Gerardo Pérez; Cristian Lineros; (43) Evelyn Silva; (27) Boris Pacheco |
| 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 | | | (19) Se debe considerar para que fines se utilizará además el terreno de cambio de uso de suelo, por ejemplo, que se use como LOTEO y abrir más mercado inmobiliario indeseado. Es importante considerar ubicación de los muestreos para la evaluación correcta y efectiva de las praderas y predio agrícolas, con el fin de cuantificar el aporte de este tipo de suelo. (07) Se deben propiciar incentivos a los pastos ambientales para poder evitar el cambio de |
| | 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 (00) 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 | | | | | (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. |
| | 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 arena. 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 (Jørgensen 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 | | | | | | |
| 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 | | | (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. | ECHOYD-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 | | | (22) Resulta más oportuno centralizar los prestadores de estos servicios. (17) 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 subsoficial que provienen de fuentes difusas | ECHOYD-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 lotes, 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.



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 | R. Liucura | Termas Pucón Indómito | 0.096 | 4.9% | 1.147 | 23.5% |
| 2 | | Termas Peumayen | 0.001 | 0.1% | 0.054 | 1.1% |
| 3 | | 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 | R. Pucón o Minetúe | Termas de Minetúe | 0.001 | 0.027% | 0.000 | 0.002% |
| 8 | | 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 Pangui 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.

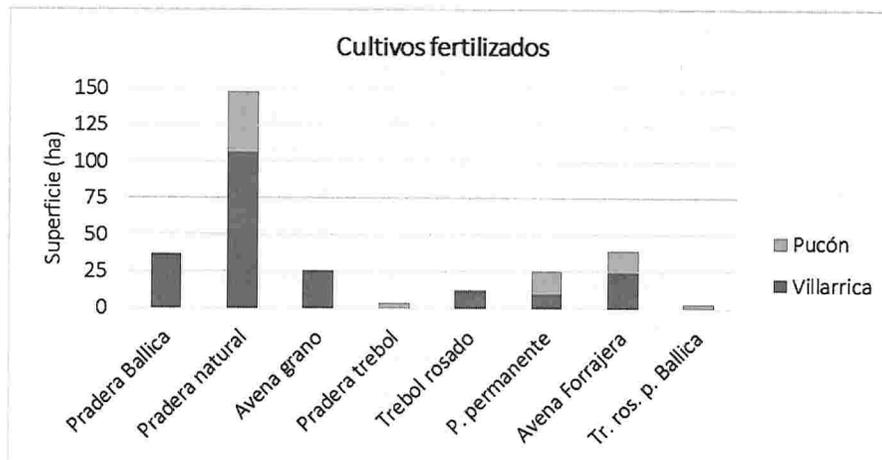


Figura 22: Cultivos fertilizados en las comunas de Villarrica-Pucón. (NOTA: pradera permanente (p. permanente) y trébol rosado con pradera Ballica (Tr. Ros. p. Ballica)).

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) | N (ton/año) |
| 2013 | S/I | 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).

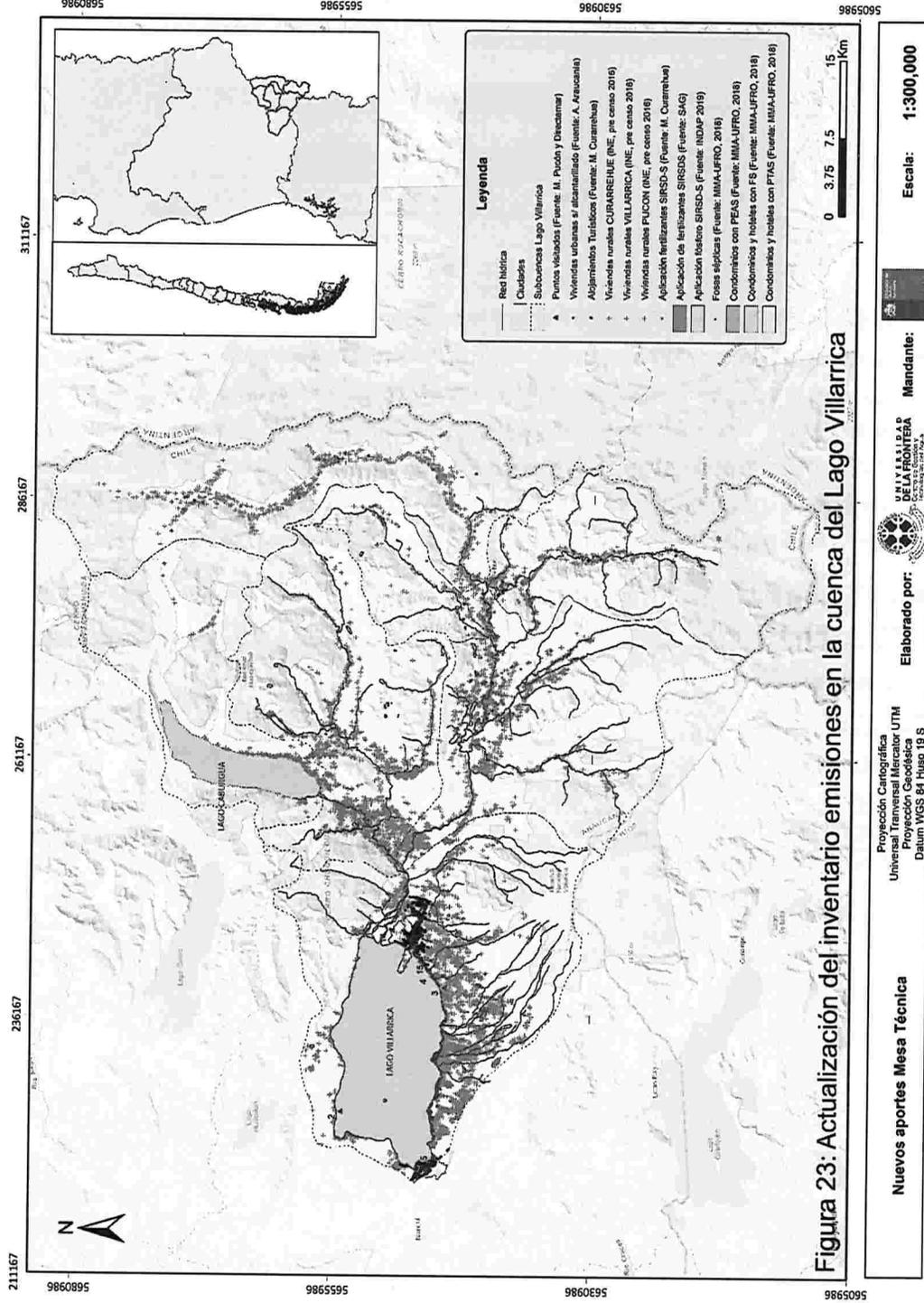


Figura 23. Nuevos aportes levantados en la cuenca del Lago Villarrica.

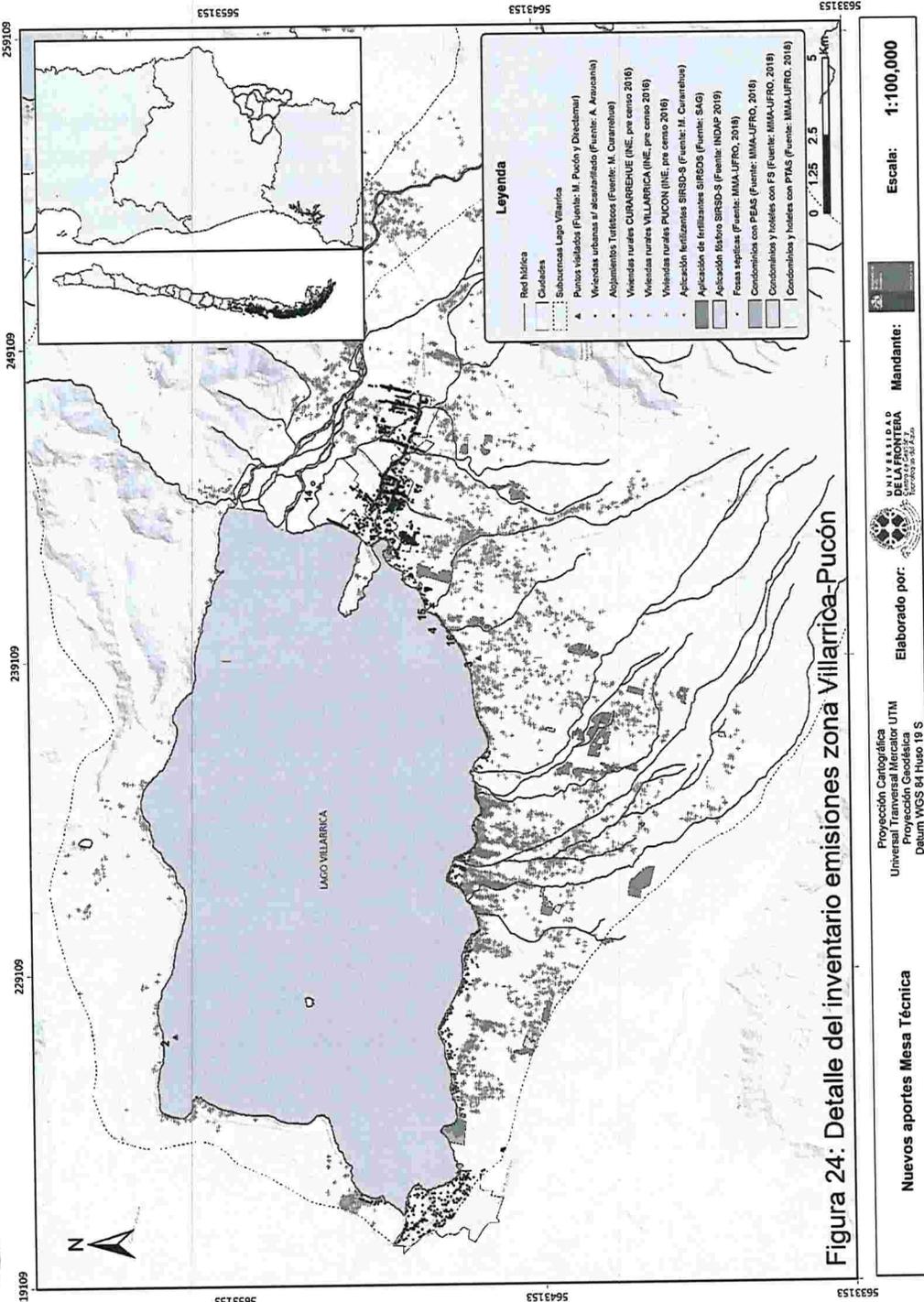


Figura 24.
 Detalle de nuevos aportes levantados en la cuenca del Lago Villarrica.

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.

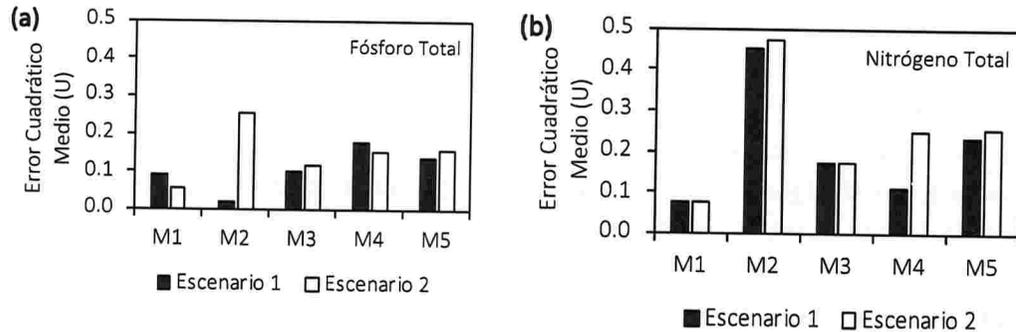


Figura 25. Distribución del error cuadrático medio (U) para los valores de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total, en los escenarios 1 y 2.

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 Villarrica.

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 |

000570

Escenario 1: Valores $LD=0$

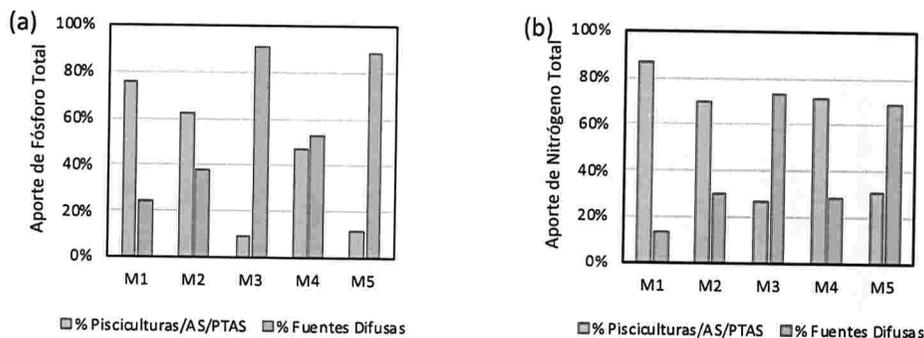


Figura 26. (Escenario 1) Responsabilidad en el aporte de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total desde Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas por cada uno de los ríos y esteros estudiados.

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 Loncotraro | 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 Loncotraro | 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 <math><LD=50\%</math>

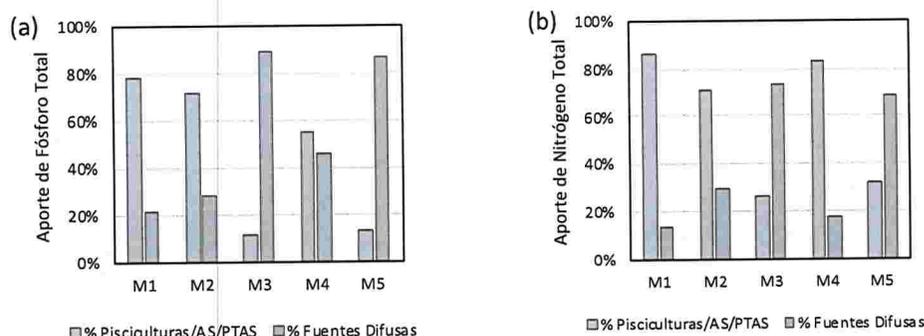


Figura 27. (Escenario 2) Responsabilidad en el aporte de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total desde Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas por cada uno de los ríos y esteros estudiados.

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 Loncotraro | 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 Loncotraro | 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% |

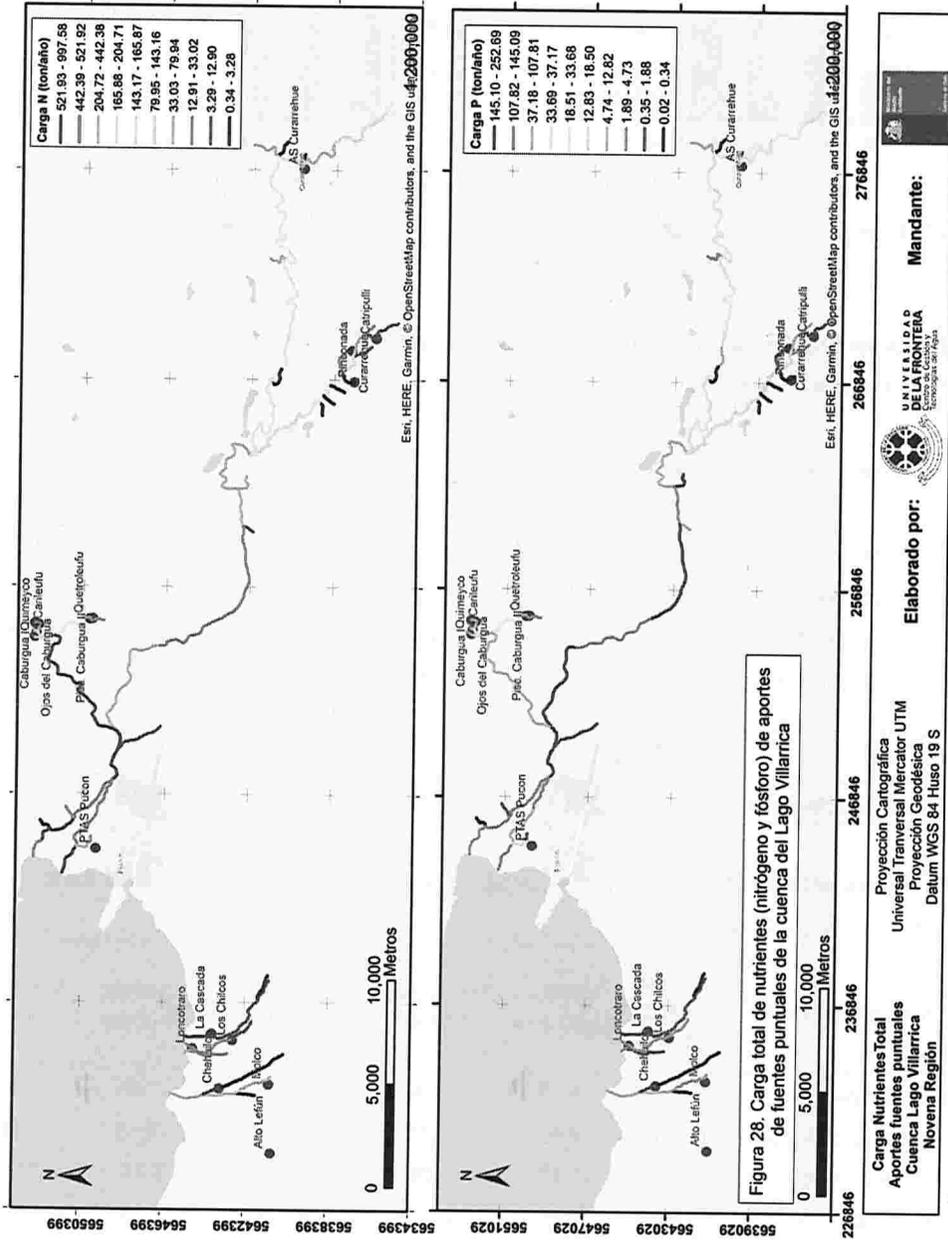


Figura 28. Resumen de cargas general en ton/año para todos los tramos de modelación considerados para el estudio.



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 Chehuilco ubicada en el estero Molco y Piscicultura Molco ubicada en el estero Chehuilco. 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 Chehuilco 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 | | Volumen (m ³) | Tiempo Residencia (día) | Velocidad (m/día) | Pendiente (m/m) |
|---------------------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| | | | Superficial (m ²) | Profundidad promedio (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. Chehuilco | 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. Chehuilco | 766.63 | 7.00 | 5366.39 | 0.35 | 1878.24 | 0.01 | 1.02 | 0.0261007 |
| T.8 Est. Chehuilco | 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 |

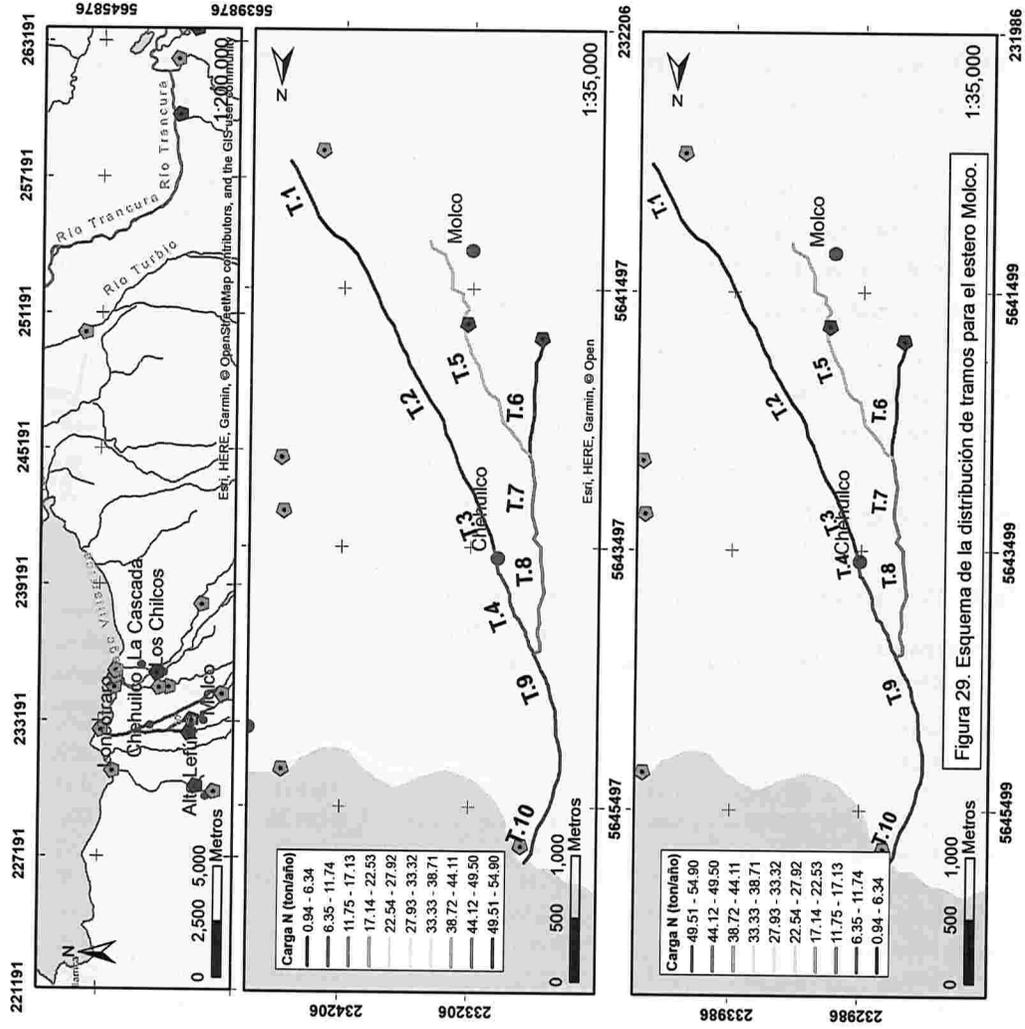


Figura 29. Esquema de la distribución de tramos para el estero Molco.



ESCENARIO 2: Valores $LD=50\%$

ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

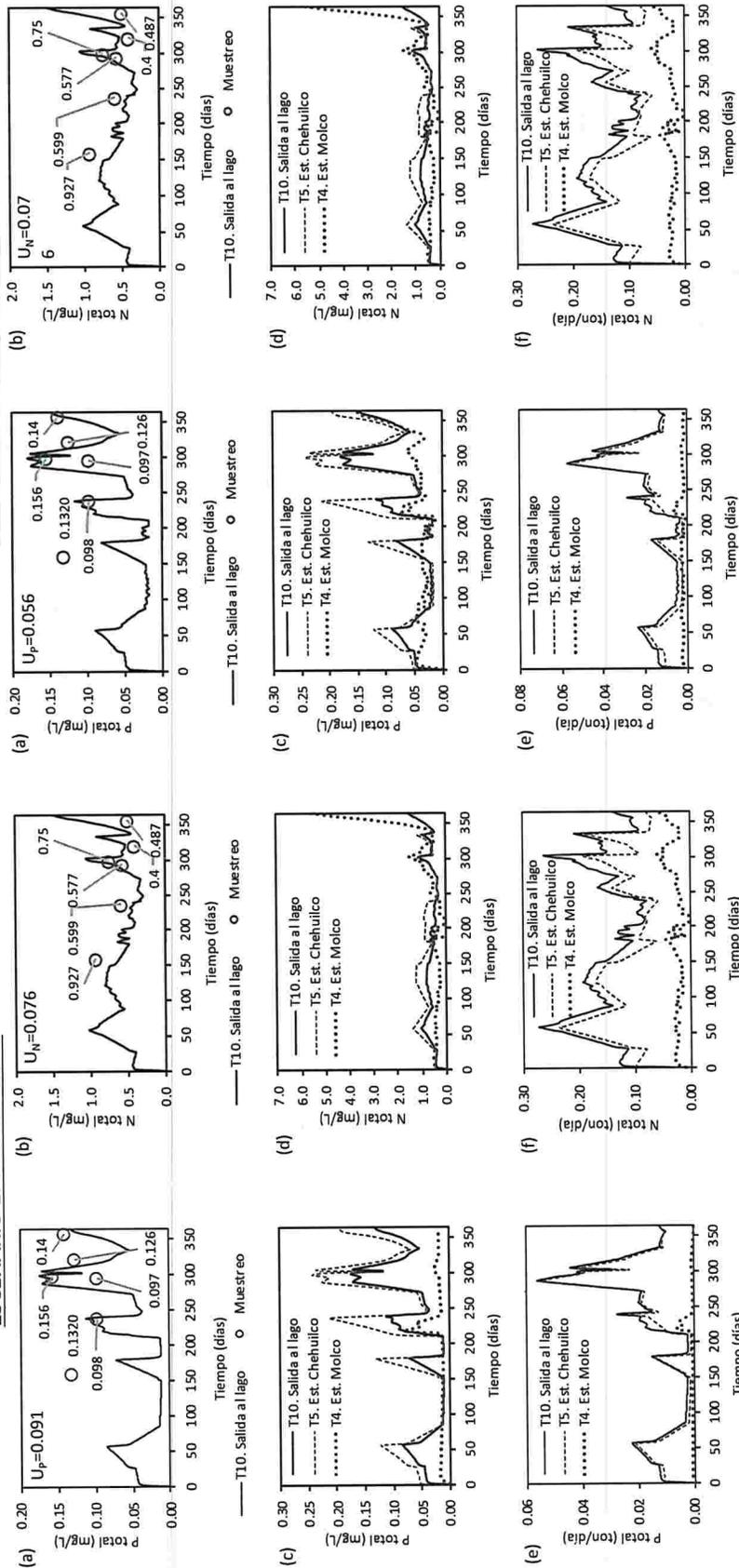
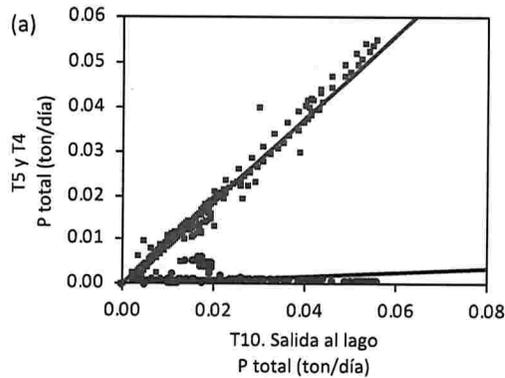


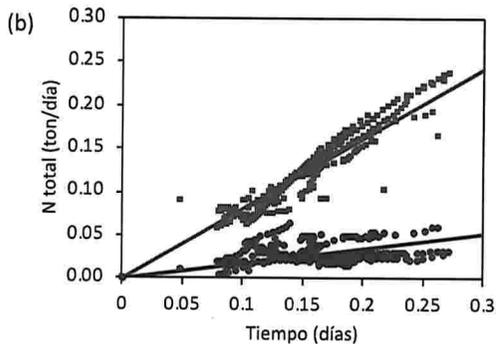
Figura 30. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Molco: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.10 (salida al lago), T.5 (Estero 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.

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 $\leq LD=0$

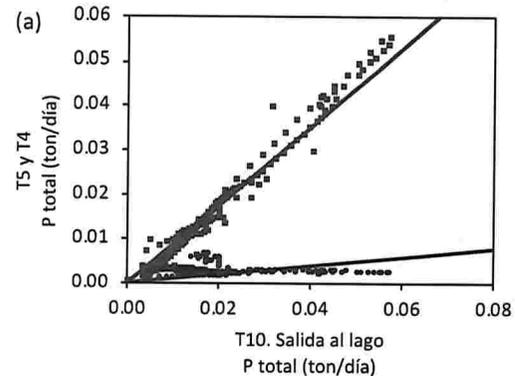


- T5. Est. Chehuilco $r=0.992$
- T4. Est. Molco $r=0.092$

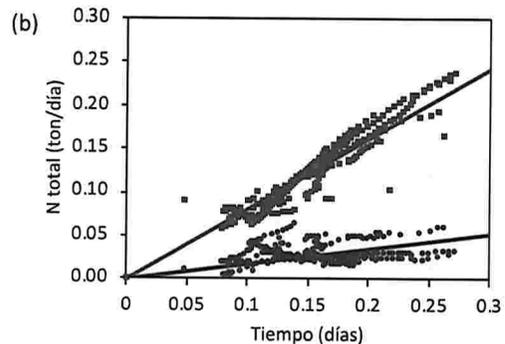


- T5. Est. Chehuilco $r=0.954$
- T4. Est. Molco $r=0.281$

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



- 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 Loncostraro (M2)

El estero Loncostraro presenta descargas provenientes de la Piscicultura Loncostraro. 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 Loncostraro, donde la salida al Lago corresponde al tramo 4 (T.4). La Piscicultura Loncostraro 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 Loncostraro, 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 Loncostraro.

| 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. Loncostraro | 1025.83 | 5.00 | 5129.15 | 0.40 | 2051.66 | 0.02 | 0.72 | 0.0292308 |
| T.2 Est. Loncostraro | 883.22 | 3.45 | 3047.11 | 0.51 | 1554.03 | 0.01 | 0.82 | 0.0389401 |
| T.3 Est. Loncostraro | 113.16 | 1.9 | 215.00 | 0.62 | 133.30 | 0.001 | 1.22 | 0.0883258 |
| T.4 Est. Loncostraro | 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 Loncoitraro.

M.2 Estero Loncoitraro
Carga Anual de Nutrientes
Ribera Lago Villarrica
Novena Región

Legenda

- ◻ Calidad
- ◻ Aforos
- M.2 Estero Loncoitraro
- 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:

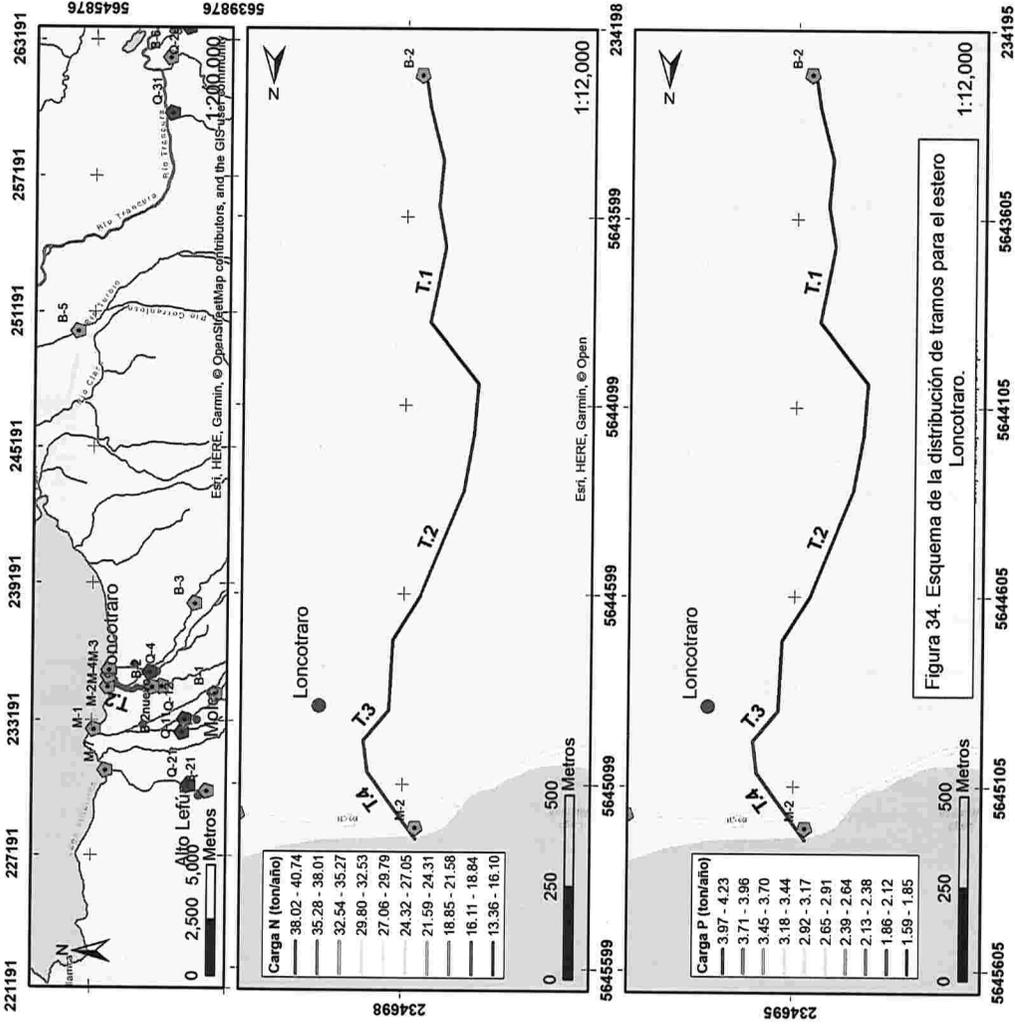


Figura 34. Esquema de la distribución de tramos para el estero Loncoitraro.



ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

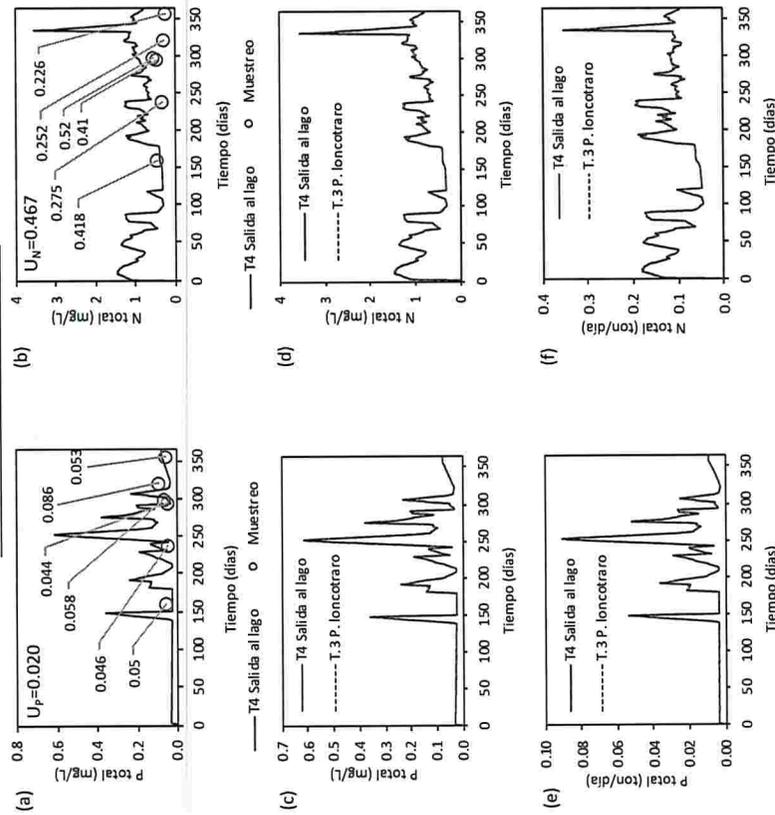


Figura 35. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Loncoctraro: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.4 (salida al lago) y T.3 (Estero Loncoctraro). 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 $LD=50\%$

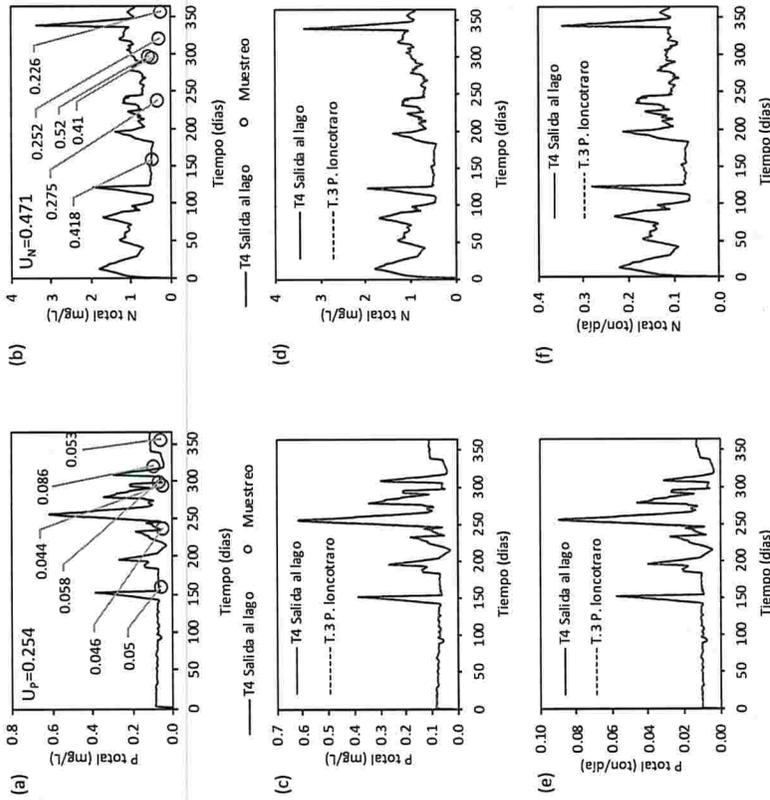
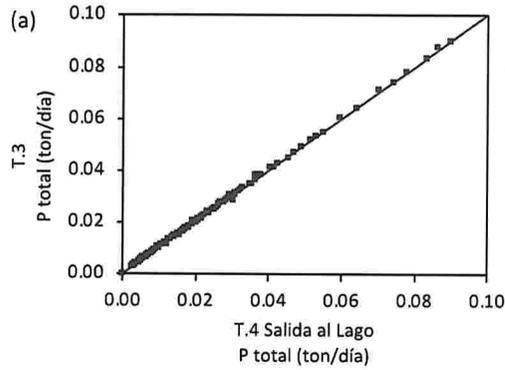
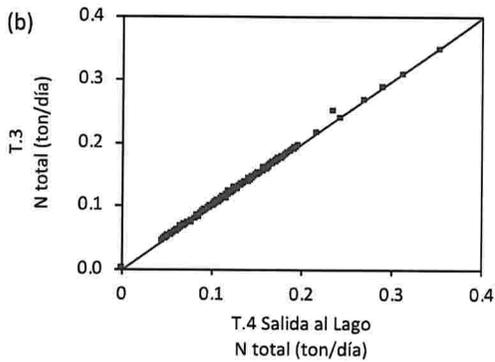


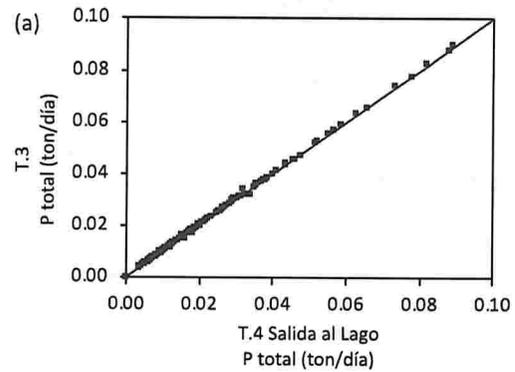
Figura 36. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Loncoctraro: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.4 (salida al lago) y T.3 (Estero Loncoctraro). 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>

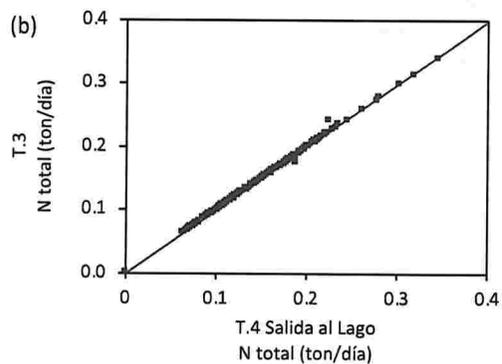
▪ T.3 P. loncotraro $r=1.00$



▪ T.3 P. loncotraro $r=1.00$

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

▪ T.3 P. loncotraro $r=1.00$



▪ T.3 P. loncotraro $r=1.00$

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.

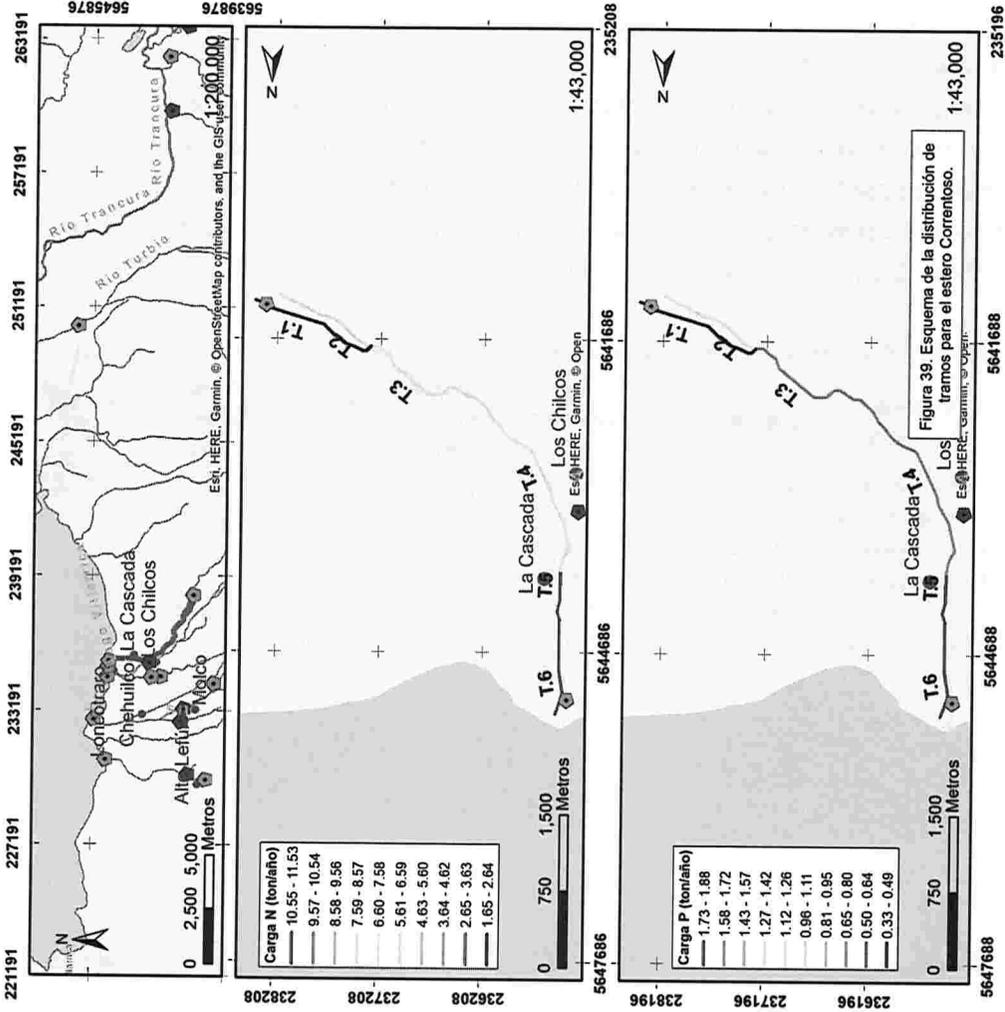
Tabla 43. Geometría utilizada para modelo de estero Correntoso.

| 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 |



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

| | | |
|--|---|--|
| <p>M.3 Estero Correntoso Carga Anual de Nutrientes Ribera Lago Villarrica Novena Región</p> | <p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Calidad ● Aforos ● Pisciculturas y PTAS — M.3 Estero Correntoso — Red hídrica | <p>Proyección Cartográfica Universal Transversal Mercator UTM</p> <p>Proyección Geodésica Datum WGS 84 Huso 19 S</p> <p>Elaborado por</p>  <p>UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA Centro de Gestión y Tecnologías del Agua</p> <p>Mandante:</p>  |
|--|---|--|



ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

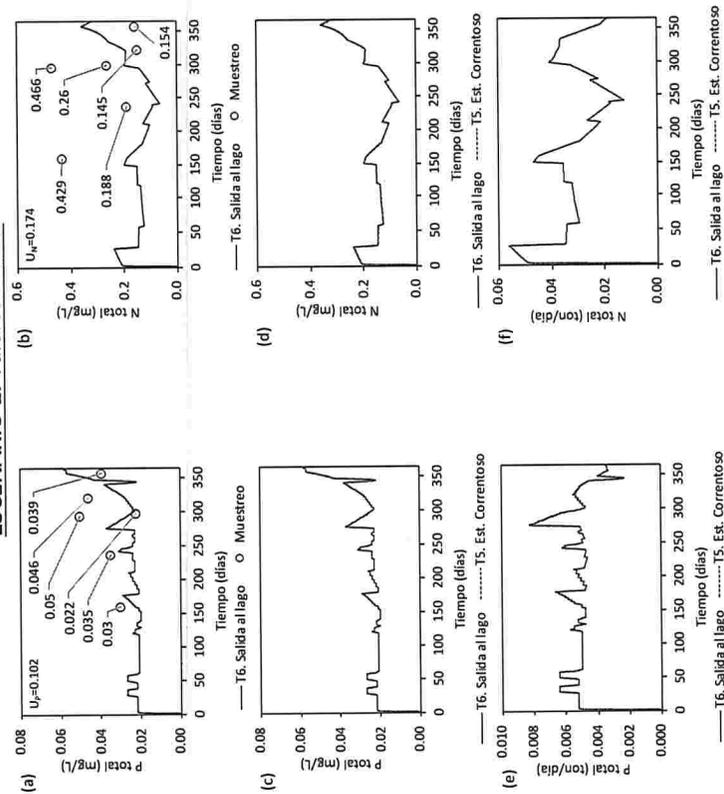


Figura 40. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Correntoso: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago) y 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 $LD=50\%$

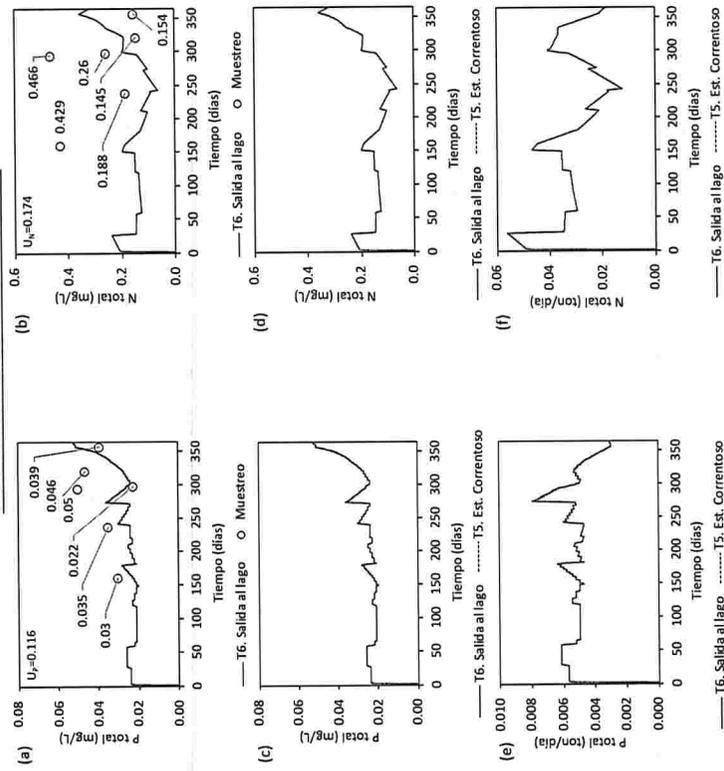


Figura 41. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Correntoso: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago) y 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.

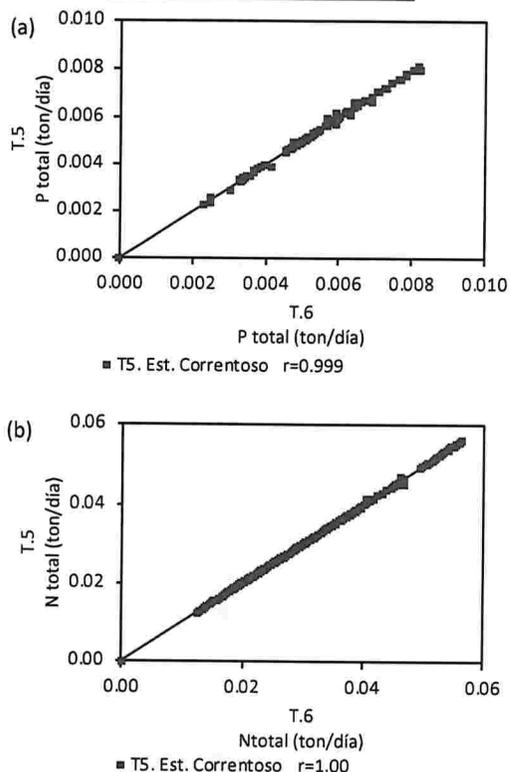
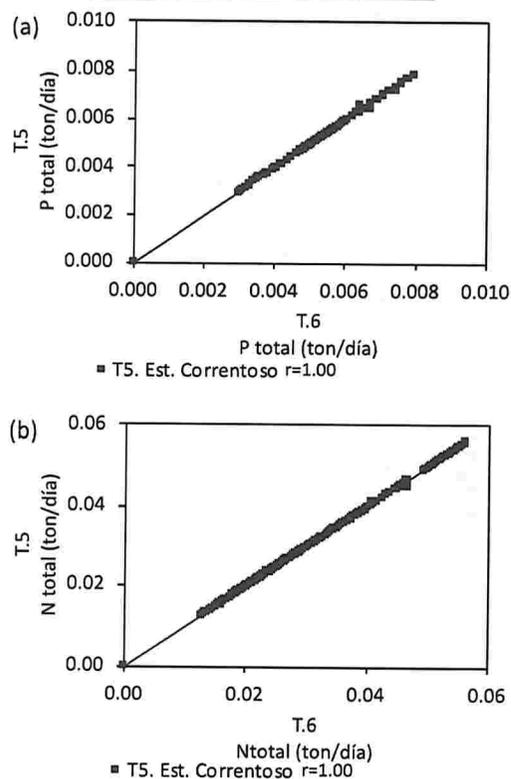
ESCENARIO 1: Valores $\leq LD=0$**ESCENARIO 2: Valores $\leq LD=50\%$**

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 Loncotraro. 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 Loncotraro 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 |



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

Leyenda

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

Proyección Cartográfica
Universal Transversal Mercator UTM

Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

Elaborado por

Mandante:

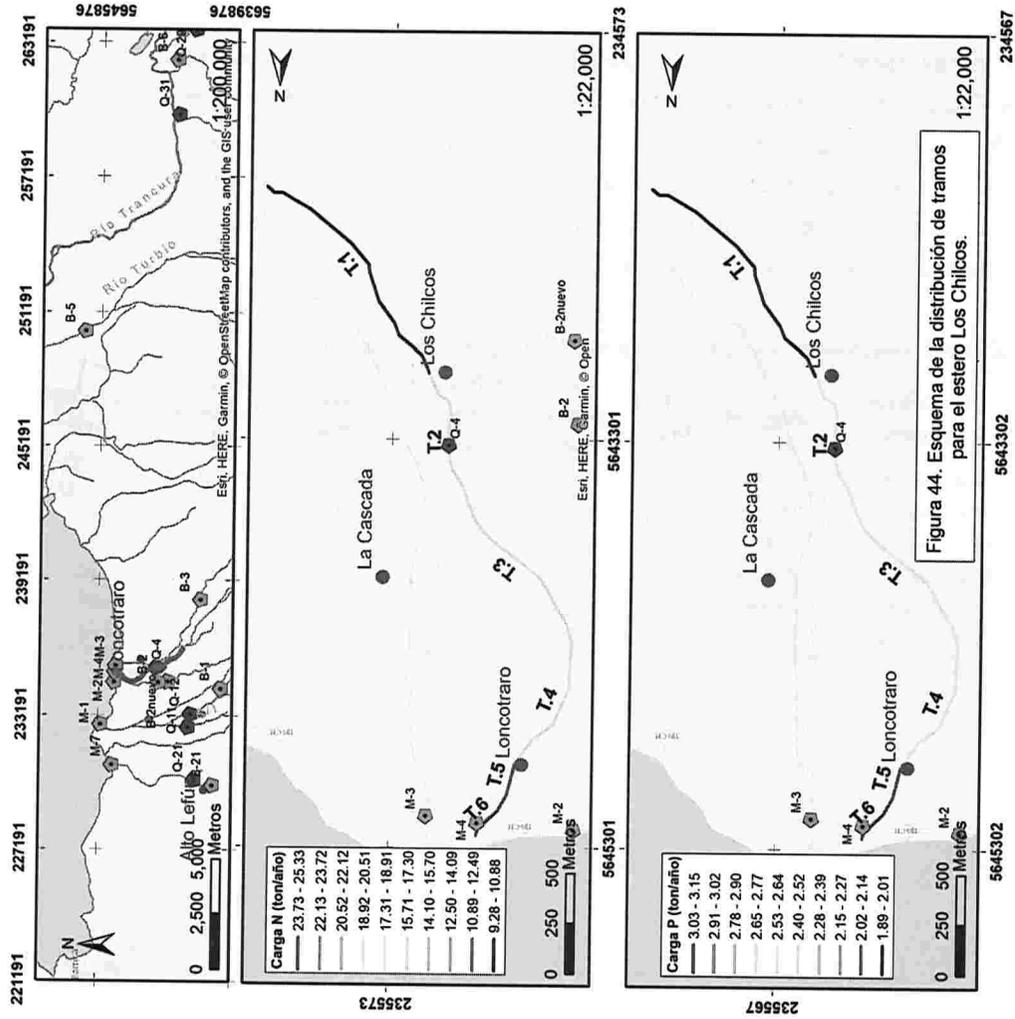


Figura 44. Esquema de la distribución de tramos para el estero Los Chilicos.

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

ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

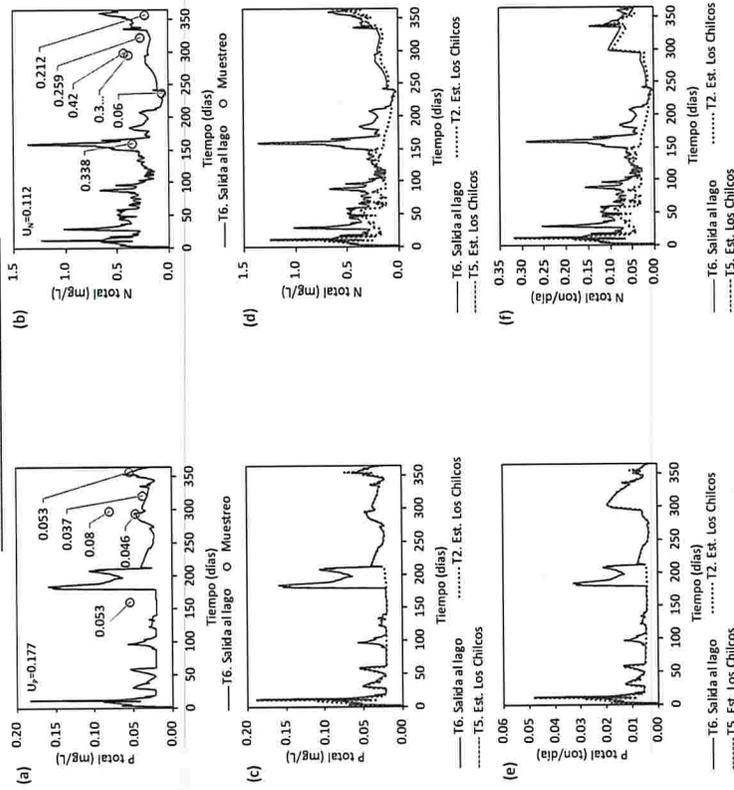


Figura 45. Escenario 1 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Los Chilicos: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total entre los tramos T.6 (salida al lago), T.2 y T.5 (Estero Los Chilicos). 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 $LD=50\%$

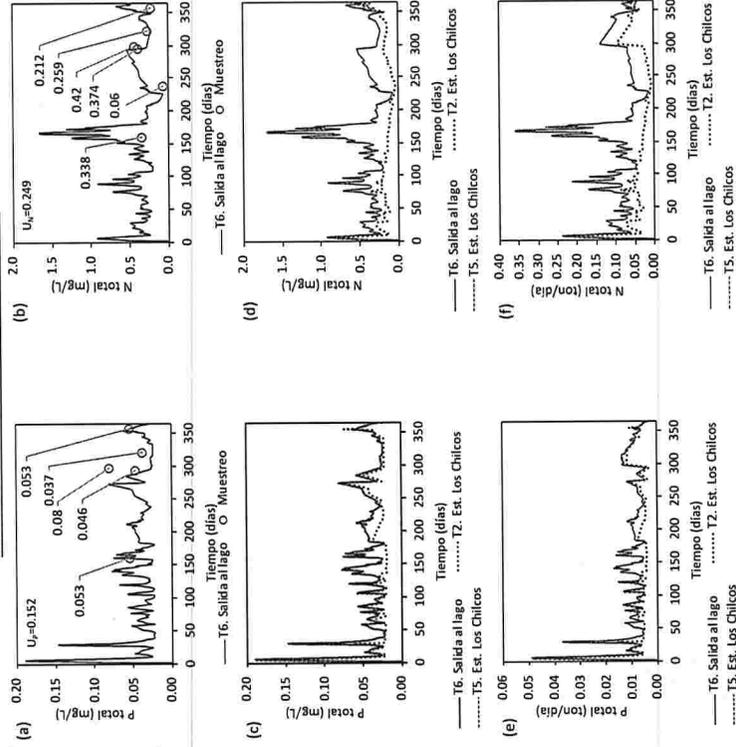


Figura 46. Escenario 2 – Modelación del transporte de nutrientes para estero Los Chilicos: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago),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

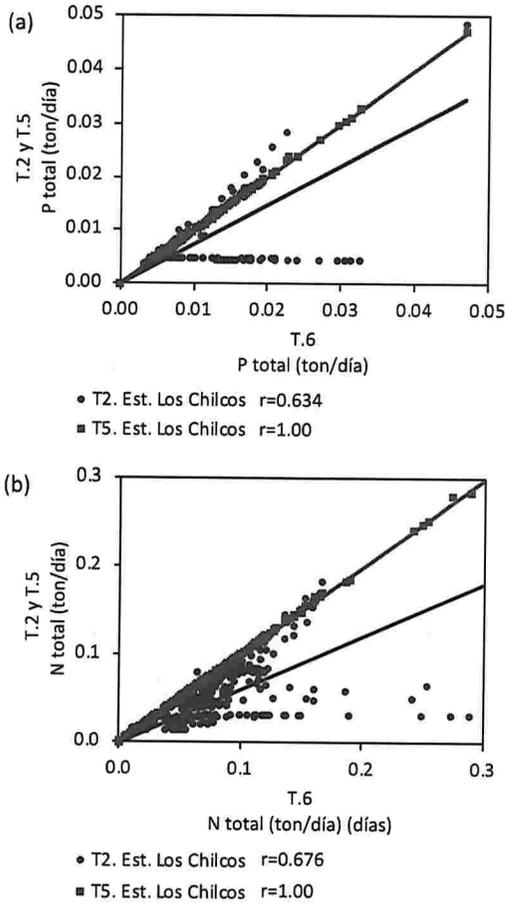


Figura 47. Escenario 1- Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y los tramos con descarga de pisciculturas T.2 y T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

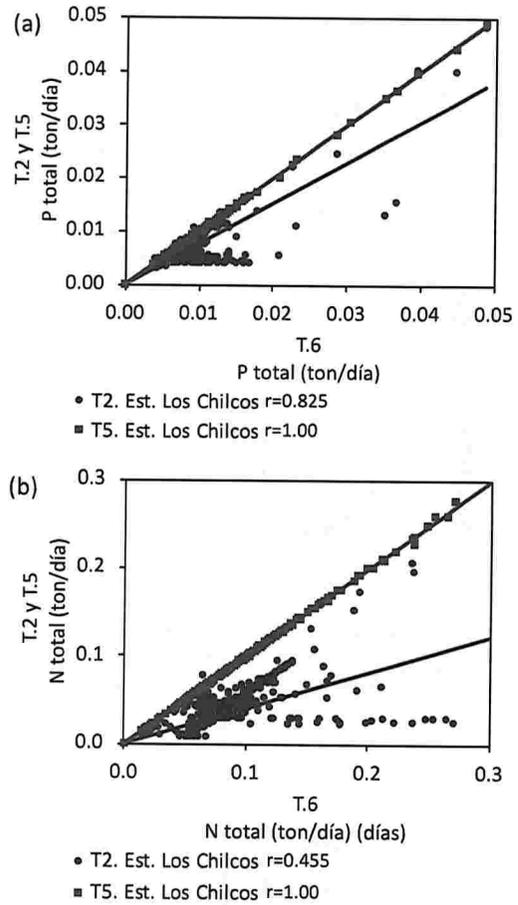


Figura 48. Escenario 2- Correlación de concentraciones entre el tramo de salida al Lago (T.6) y los tramos con descarga de pisciculturas T.2 y T.5: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.



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.

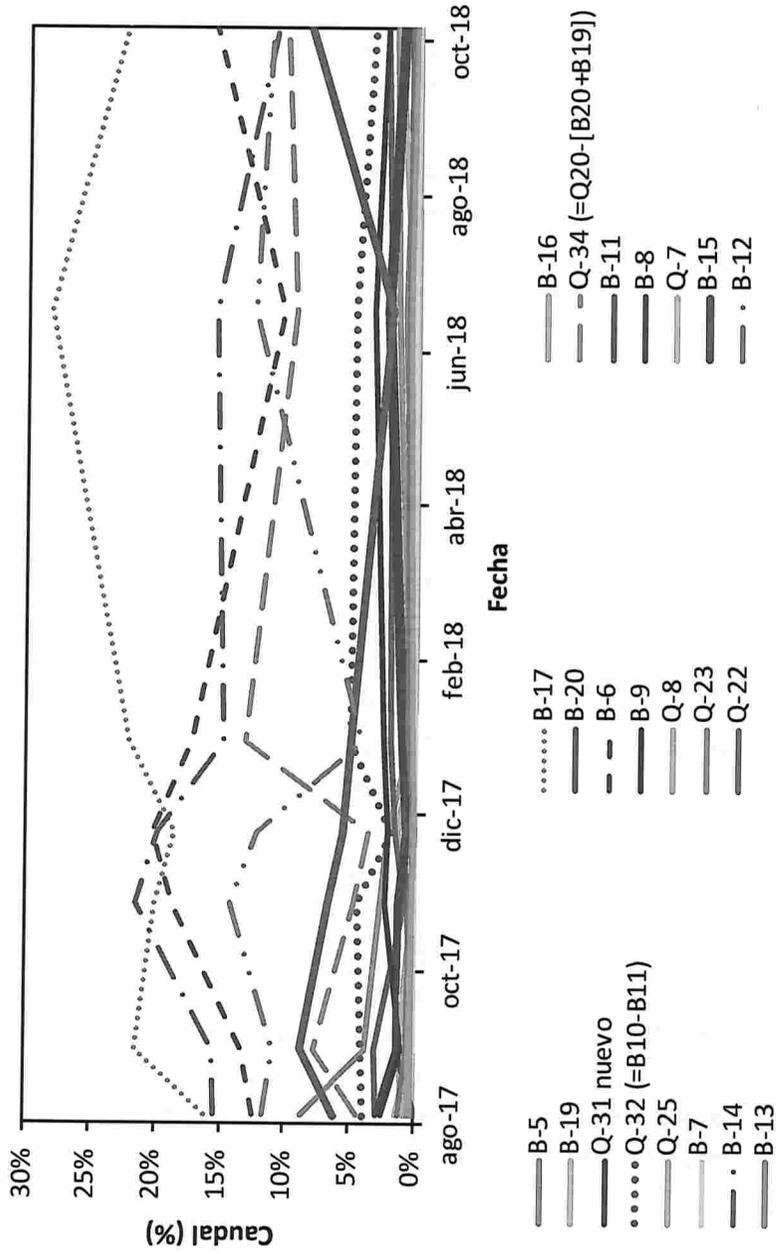


Figura 49: Serie temporal de los aportes de ríos y esteros al M-5 (Quelhue) asociado a las campañas en terreno. Elaboración propia.

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 Licura | 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% |
| Esteros 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 Palgullil | 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% |
| | 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 Pangui | 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 Río Trancura Carga Anual de Nutrientes Novena Región | Leyenda ● Calidad ● Aloros ● Pisciculturas y PTAS — M5. Río Trancura — Red hídrica | Proyección Cartográfica: Universal Mercator Proyección Geodésica: Datum WGS 84 Huso 19 S | Elaborado por Mandante: |
|---|--|---|--------------------------------|

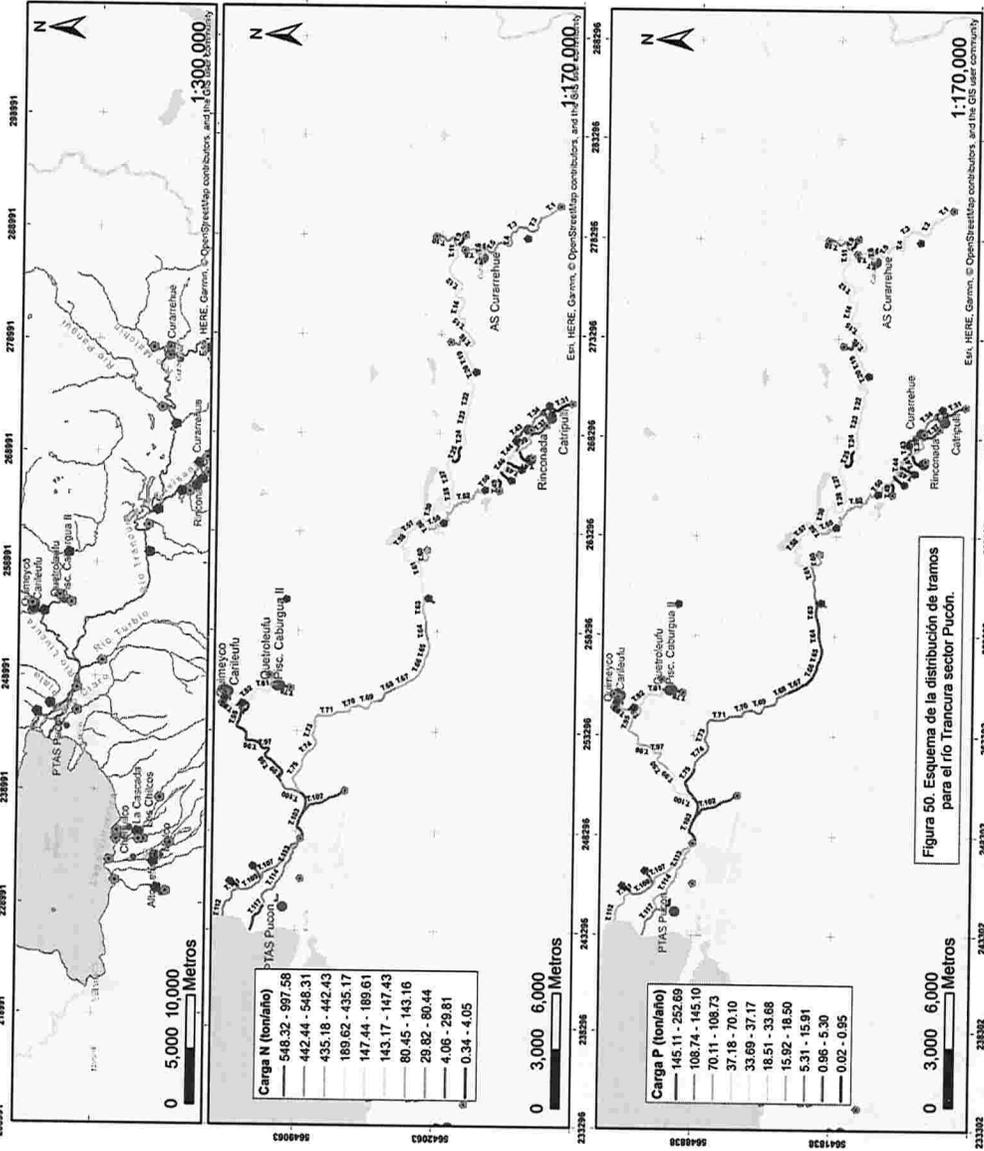
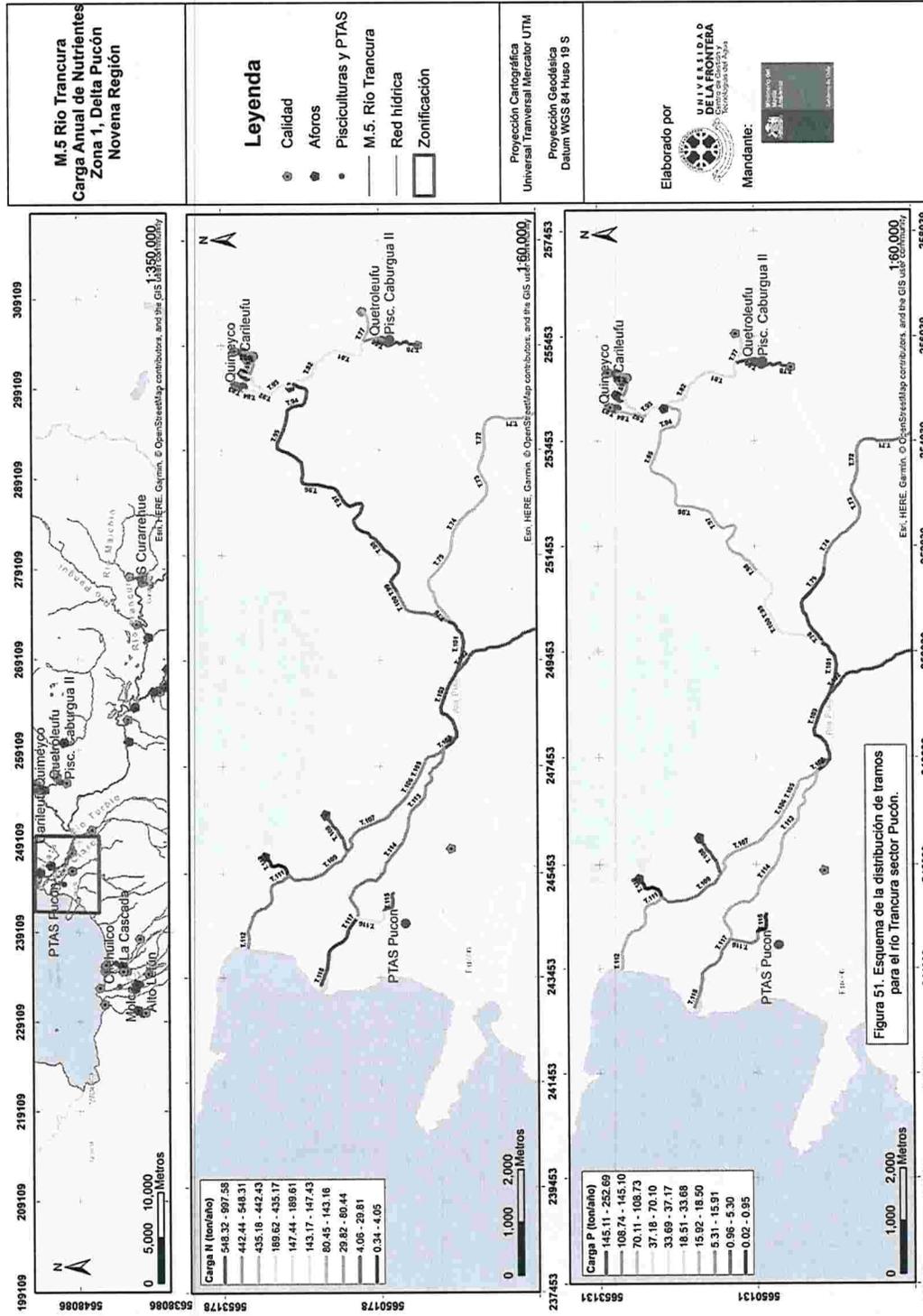


Figura 51.
Esquema de la
distribución de
tramos para el río
Trancura sector
Pucón.



Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

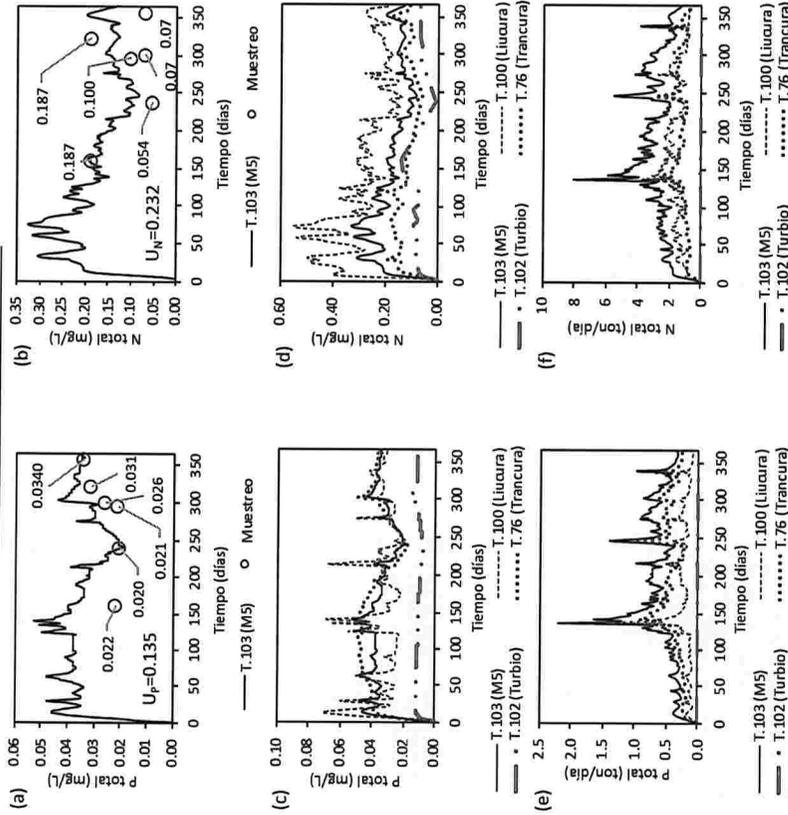


Figura 52. Escenario 1—Río Trancura: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrogeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrogeno total entre los tramos T.103 (Control), T.100, 102 y T.76. Comparación de carga diaria en ton/día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

ESCENARIO 2: Valores $LD=50\%$

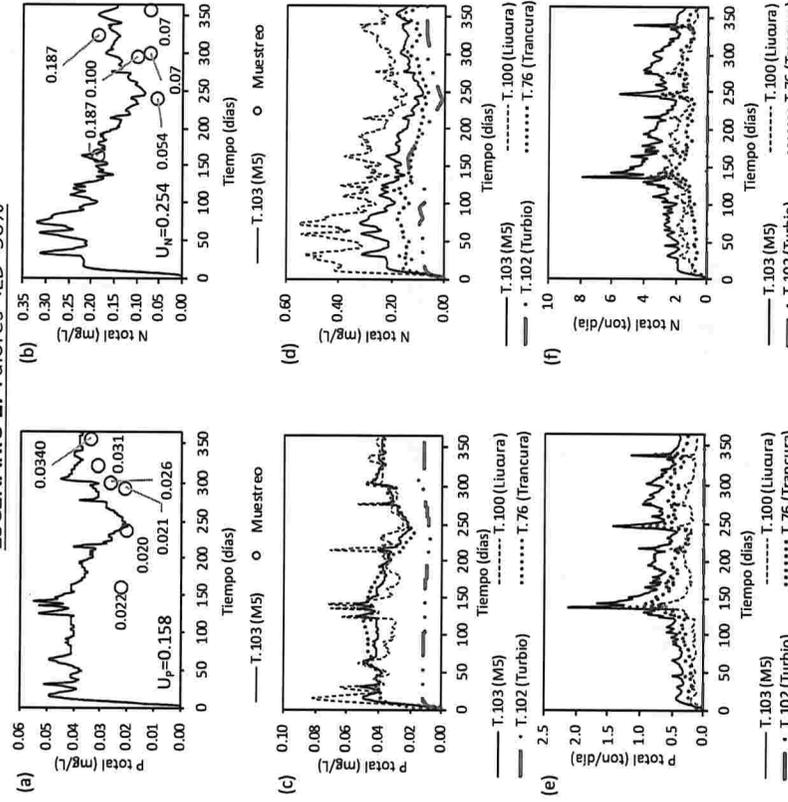


Figura 53. Escenario 2—Río Trancura: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrogeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrogeno total entre los tramos T.103 (Control), T.100, 102 y T.76. Comparación de carga diaria en ton/día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



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

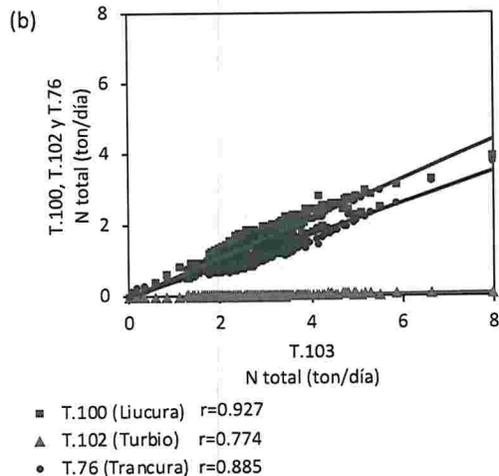
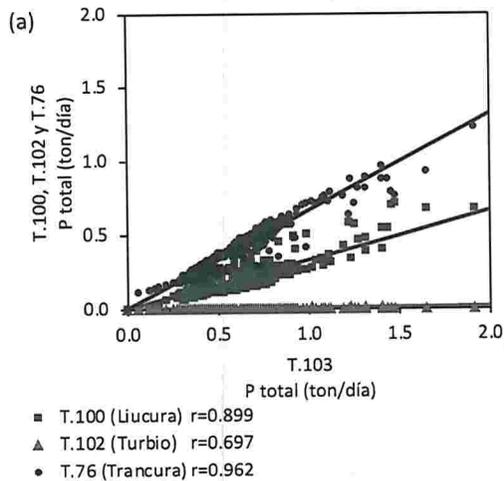


Figura 54. Escenario 2—Correlación de concentraciones entre el tramo de control T.103 y los tramos tributarios T.100, T.102 y T.76: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

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

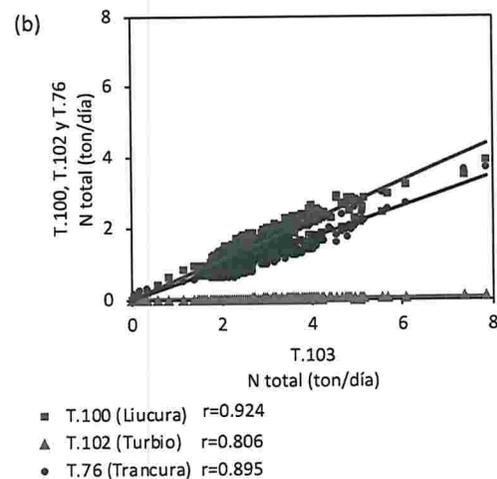
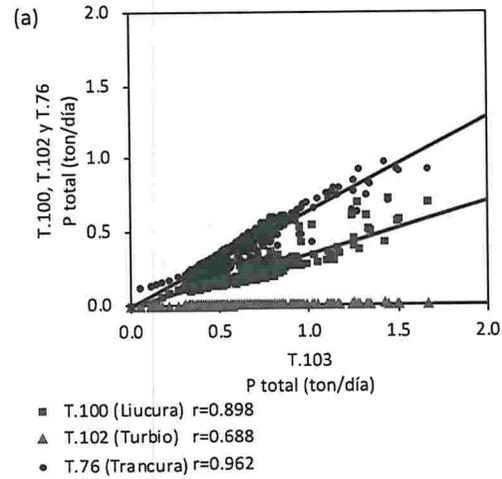


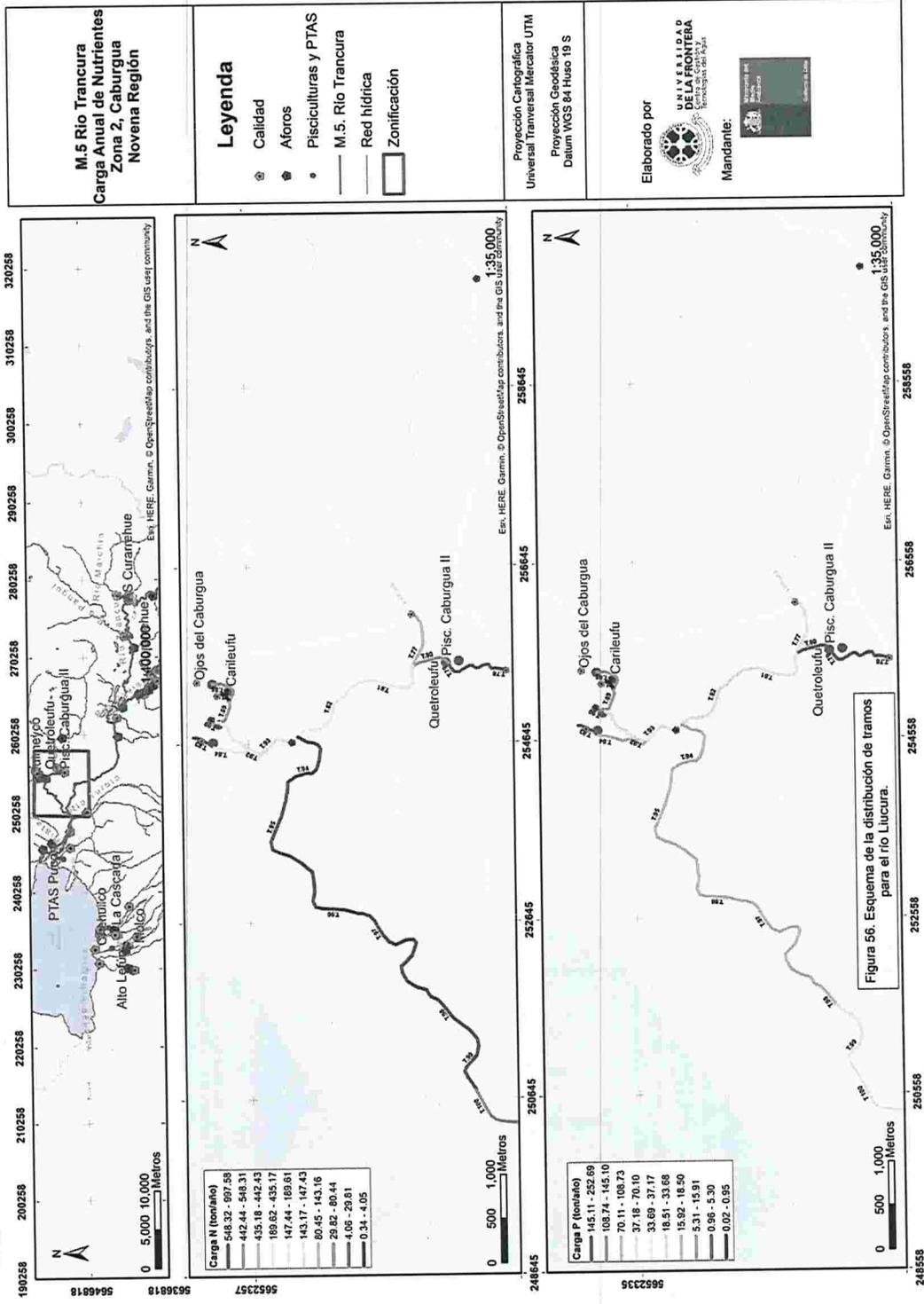
Figura 55. Escenario 2—Correlación de concentraciones entre el tramo de control T.103 y los tramos tributarios T.100, T.102 y T.76: (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total. r corresponde al coeficiente de correlación de Pearson.

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 Caburgia I en tramo T.91, Piscicultura Quimeyco en tramo T.84, Piscicultura Carileufu en tramo T.86, Piscicultura Caburgia II en tramo T.79, Piscicultura Ojos del Caburgia 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 Caburgia) esto puede deberse a que aguas arriba se encuentran los afloramientos de los Ojos del Caburgia que corresponderían a la desembocadura del Lago Caburgia, ello explicaría las altas concentraciones.

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



ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

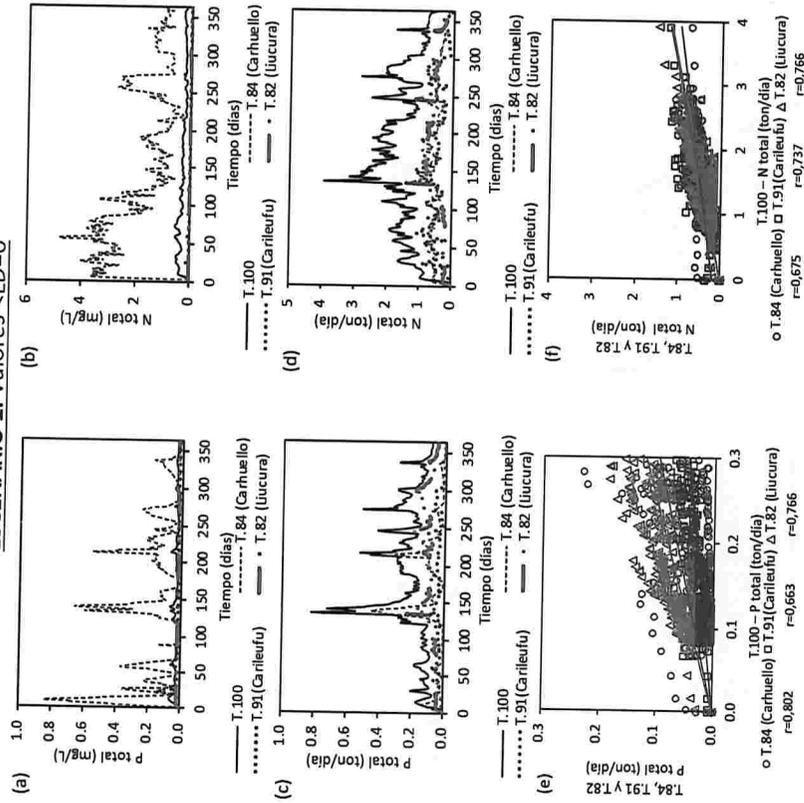


Figura 57. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos tributarios río Carhuello (T.84), río Carileufu (T.91)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

ESCENARIO 2: Valores $LD=50\%$

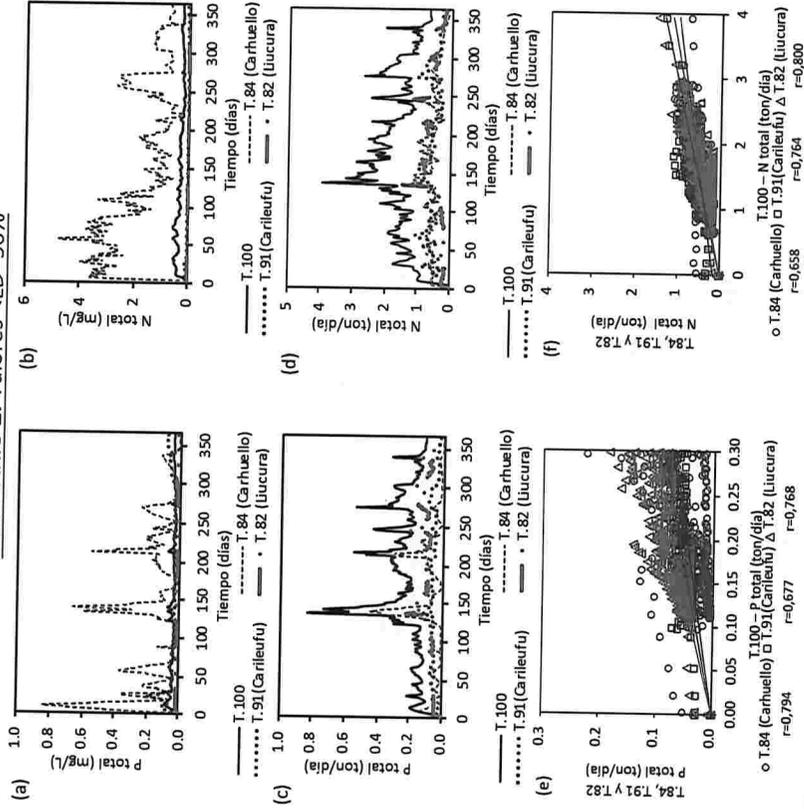


Figura 58. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liucura) y los tramos tributarios río Carhuello (T.84), río Carileufu (T.91)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

ESCENARIO 1: Valores $LD=0$

ESCENARIO 2: Valores $LD=50\%$

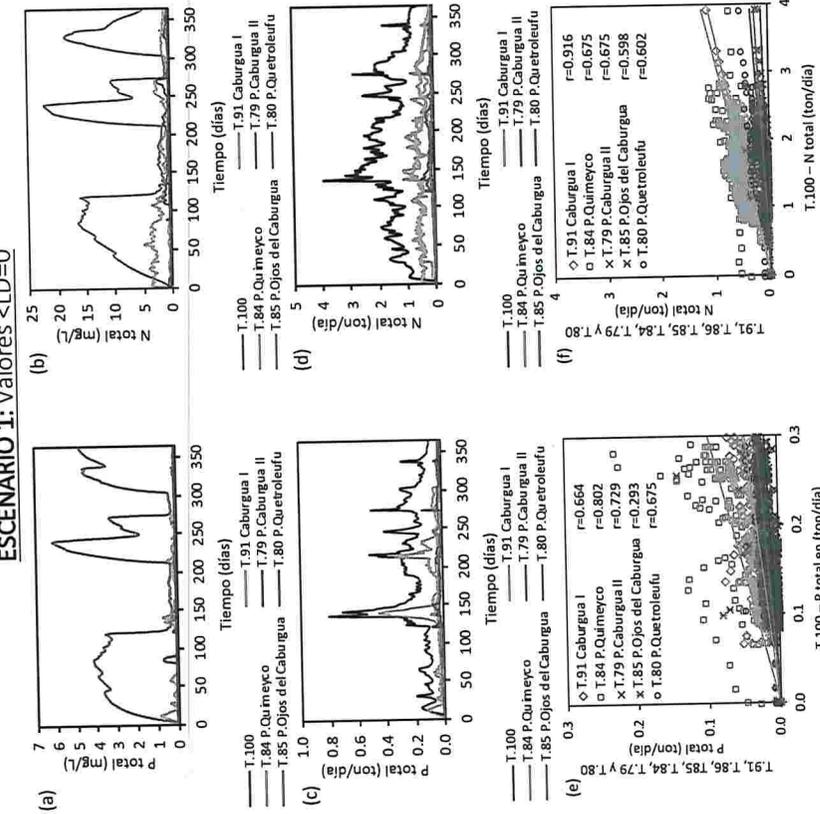


Figura 59. Escenario 1 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liuicura) y los tramos con presencia de descarga de pisciculturas: (e) Fósforo total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

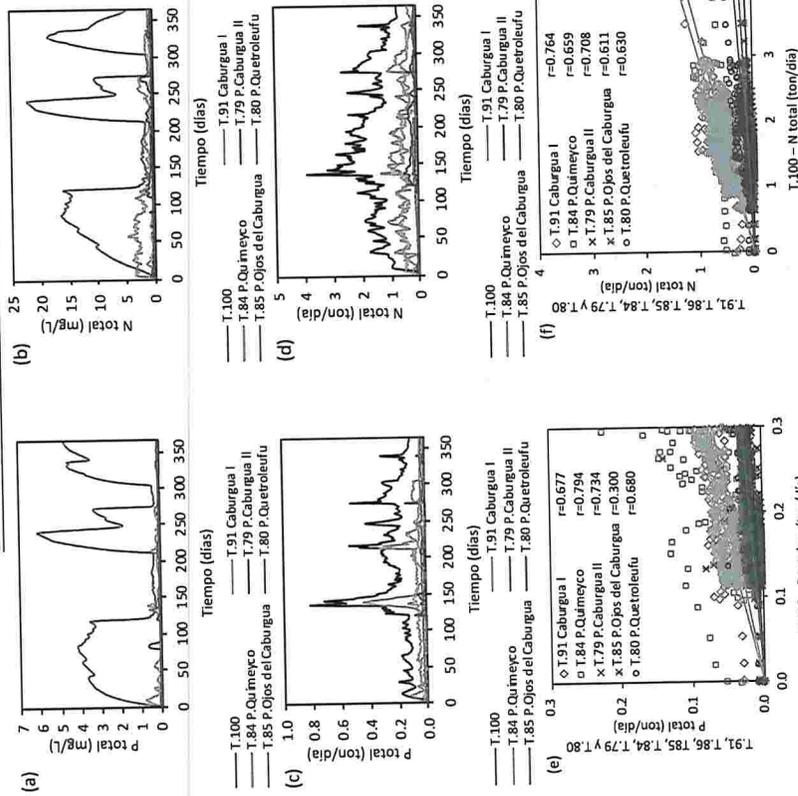


Figura 60. Escenario 2 – Modelación de transporte de nutrientes. Concentración de Fósforo Total y (b) Nitrógeno total. Carga de (c) Fósforo Total y (d) Nitrógeno total. Correlación de concentraciones entre el tramo 100 (Liuicura) y los tramos con presencia de descarga de pisciculturas: (e) Fósforo total 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

