INFORME FINAL

EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FÓSFORO) EN BASE AL ANÁLISIS DE ESCENARIOS, COMO INSUMO PARA LA PREPARACIÓN DEL ANTEPROYECTO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA

(ETAPA 3)





Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

Equipo de Trabajo:

Jefe de Proyecto:	Juan Carlos Ortega Bravo
Coordinadora:	Julieta Andrea Martínez Torres
Ing. de Proyecto:	Catalina Martínez Pérez
Ing. de Proyecto:	Karla Victoria Abarzúa Gatica
Ing. de Proyecto:	Mercedes Nistal Beleña

Jueves, 2 de enero de 2020

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 5
2. OBJETIVO GENERAL 8
2.1. Objetivos específicos 8
3. ANTECEDENTES PREVIOS 9
4. METODOLOGÍA UTILIZADA 13
4.1. (OE1) Estimar aportes de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). 13
4.2. (OE2) Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). 13
4.3. (OE3) Diseñar y evaluar escenarios de reducción de emisiones. 15
4.4. (OE4) Capacitación en el uso de WASP y NSPECT 17
5. RESULTADOS 19
5.1. (OE1) Estimación del aporte de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). 19
5.1.1. Análisis y sistematización de los aportes por tipo de fuente. 19
5.1.1.1 Emisiones de viviendas sin conexión a alcantarillado. 19
5.1.1.2 Emisiones de Fuentes Puntuales 27
5.1.1.3 Emisiones cobertura de suelos (NSPECT) 32
5.1.1.4 Cálculo de transporte de nutrientes (WASP). 41
5.1.2. Resumen inventario de emisiones 46
5.2. (OE2) Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). 48
5.3. (OE3) Diseño y evaluación de escenarios de reducción de emisiones 50
5.3.1. Planes de gestión de fuentes de contaminación 50
5.1.1.5 Fuentes Difusas: sector silvoagropecuario 60
5.1.1.6 Fuentes Difusas: viviendas sin conexión a alcantarillado 60
5.1.1.7 Fuentes Difusas: Vegetación Ripariana 66
5.1.1.8 Fuentes Puntuales 69
5.3.2. Diseño de escenarios de reducción de emisiones 74
5.1.1.9 Análisis de la erosión en una cuenca hidrológica 74
5.1.1.10 Evaluación de medidas de reducción de emisiones fuentes difusas 80

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

5.3.3. Fichas de medidas de reducción. 91
5.4. (OE4) Capacitación en el uso de WASP y NSPECT..... 96
6. DISCUSIÓN FINAL 97
7. REFERENCIAS..... 98
8. ANEXO 1: Carga de Nitrógeno y Fósforo Total calculada por N-SPECT 101
9. ANEXO 2: Carga por cobertura y sub-sub-cuencas 116
10. ANEXO 3: Ajustes Modelos WASP..... 124
11. ANEXO 4: Resumen gráfico monitoreos de calidad de agua en puntos de control. 129
12. ANEXO 5: Tablas resumen de monitoreos de calidad de agua en puntos de control.. 133
11. ANEXO 6: Mapas temáticos para evaluación de medidas de reducción N-SPECT..... 140
13. ANEXO 7: Fotografías y asistencia a taller WASP y N-SPECT. 155

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

EQUIPO DE TRABAJO

1. **Juan Carlos Ortega Bravo**
   Ingeniero Ambiental
   Dr. en Ingeniería
   Rol: Jefe de Proyecto
   e-mail: juan.ortega@ufrontera.cl

2. **Julieta Andrea Martínez Torres**
   Ingeniero Civil en Biotecnología
   Mg. en Manejo de Recursos Naturales
   Rol: Coordinadora de Proyecto
   e-mail: julieta.martinez@ufrontera.cl

3. **Catalina Martínez Pérez**
   Ingeniero Civil Ambiental
   Rol: Ingeniera de Proyecto
   e-mail: catalina.martinez@ufrontera.cl

4. **Karla Victoria Abarzúa Gatica**
   Ingeniero Civil Ambiental
   Rol: Ingeniera de Proyecto
   e-mail: karla.abarzua@ufrontera.cl

5. **Mercedes Nistal Beleña**
   Ingeniera Ambiental
   Rol: Ingeniera de Proyecto
   e-mail: mercedes.nistal@ufrontera.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 km^2, abarca las comunas de Villarrica, Pucón, y Curarrehue. 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 351.686 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. Cuenca del Lago Villarrica, subcuencas y red hídrica (Elaboración propia).). Tiene una extensión de 176 km^2 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 oligotrofía a una de mesotrofía (MMA, 2011).

Según MMA-UACH (2009) y 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 en el municipio 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 están poniendo énfasis en el monitoreo y conservación de la cuenca del Lago Villarrica, considerada una de las principales atracciones turísticas de la novena región.

Es en este contexto que la Seremi del Medio Ambiente Región de La Araucanía, en 2017 realiza el 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 recuperación (MMA-UFRO, 2018).

El estudio realizado MMA-UFRO (2018) logra 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 esta evaluación.

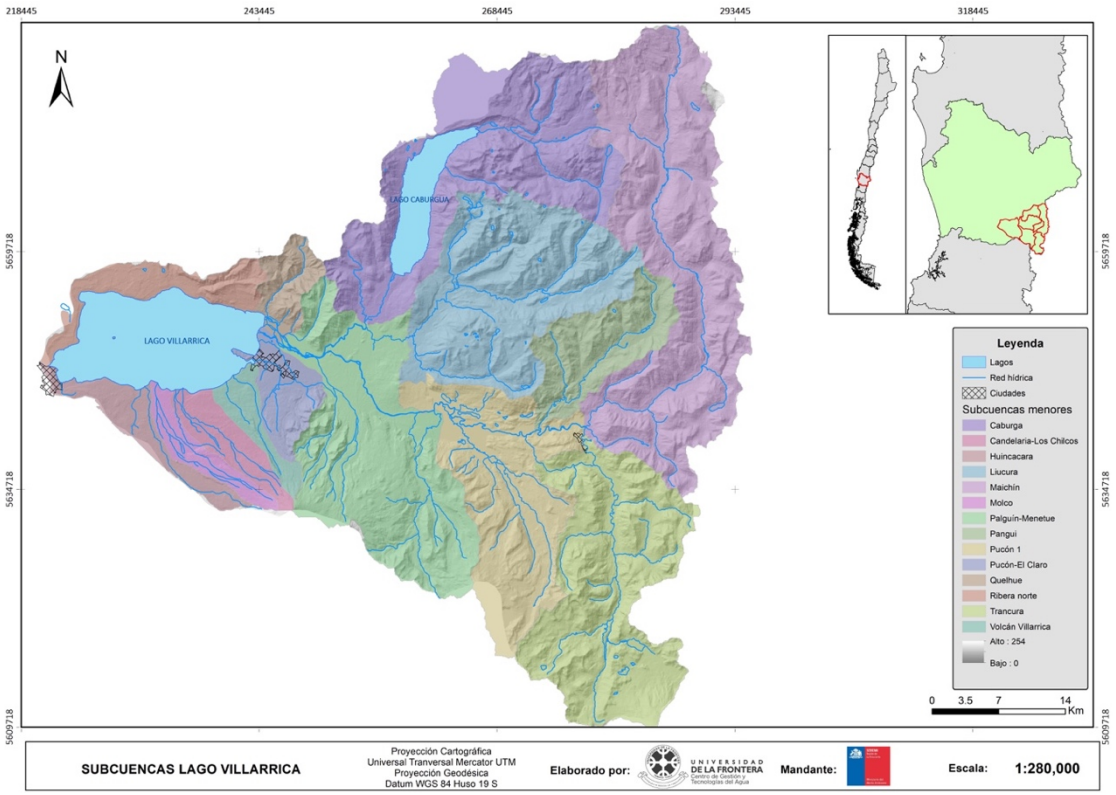


Figura 1. Cuenca del Lago Villarrica, subcuencas y red hídrica (Elaboración propia).

Los resultados del estudio realizado por MMA-UFRO (2018), muestran 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 proviene de actividades productivas y sanitarias, tales como pisciculturas, aguas servidas con descarga directa y planta de tratamiento de aguas servidas urbanas.

Por otro lado, el mismo estudio, sugiere continuar esta investigación por 3 años, aumentando la cantidad de puntos de muestreo 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 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.

En este contexto, durante el año 2018 y principios del año 2019, se desarrolló un nuevo estudio denominado: "Análisis de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al Plan de Descontaminación del Lago Villarrica", que fue ejecutado por la Universidad de La Frontera y donde se generó el levantamiento y revisión de todas las medidas propuestas por estudios anteriores, realizándose una sistematización de las mismas, previa a su evaluación, según la metodología propuesta por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua.

En el marco de los antecedentes, el presente estudio tiene por fin realizar un trabajo de evaluación de escenarios de contaminación por nutrientes y diferentes medidas que aporten a la descontaminación, evaluar el cambio en los usos de suelo y su potencial en la reducción de emisiones, entre otras medidas propuestas en el marco del comité operativo del plan de descontaminación. Finalmente, con información más completa, será posible evaluar escenarios de contaminación y determinar 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.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar escenarios de contaminación por nutrientes de Nitrógeno y Fósforo proveniente de las principales fuentes aportantes en la cuenca del Lago Villarrica, determinando aquellas medidas con mayor potencial de reducción, que aporten a la descontaminación del mismo, en el marco de la elaboración del anteproyecto de su Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

2.1. Objetivos específicos

1. Estimar aportes de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en Kg/año, desde fuentes puntuales y difusas en cauces aportantes al Lago Villarrica para completar inventario actual de emisiones.
2. Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en cauces aportantes al Lago Villarrica.
3. Diseñar y evaluar escenarios de reducción de emisiones desde fuentes puntuales y difusas identificadas en la investigación.
4. Implementación de taller de capacitación en materias de calidad de agua, uso de modelos y base de datos.

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

3. ANTECEDENTES PREVIOS

De acuerdo a los resultados obtenidos por MMA-UFRO, (2019)[1] es posible establecer 16 fuentes de emisión para Nitrógeno y Fósforo (ver Tabla 1), de ello se desprende que las 3 principales fuentes corresponderían (1) al tipo de uso de suelo que presenta la cuenca, (2) viviendas sin conexión a alcantarillado tanto rurales como urbanas y finalmente (3) la industria piscícola.

La Figura 2 muestra un detalle de los aportes, donde es importante destacar el hecho de que las aguas servidas descargadas directamente al río en la comuna de Curarrehue (clase: N) representa tan solo un 1.6% del Nitrógeno total emitido y un 1.7% del Fósforo total emitido.

Otro aspecto importante a destacar de la Figura 2b son las emisiones de las Pisciculturas (**N:**32.3%; **P:**12.5%), viviendas rurales sin alcantarillado (**N:**21.5%; **P:**19.2%) y emisiones difusas asociadas al uso de suelo (**N:**36.1%; **P:**61.0%).

Es importante destacar que este cálculo representa solo las emisiones de cada fuente y no lo que eventualmente podría estar llegando al Lago Villarrica. Realizar esta aclaración es importante dado que por un lado (1) son diversas las interacciones que las especies nitrogenadas y fosforadas enfrentan a lo largo del río antes de llegar al lago mismo y, por otro lado, (2) las barreras que las emisiones deben enfrentar antes de llegar a un cuerpo de agua receptor son diferentes en cada caso. Por ejemplo, en el caso de las Pisciculturas, éstas son consideradas como una fuente del tipo "Puntual" por el hecho de que sus emisiones representan una descarga "directa" a un cuerpo receptor (entiéndase un río para el caso de este estudio), pero en el caso de las viviendas rurales sin conexión a alcantarillado, **la distancia** de éstas a un cuerpo receptor, **el tipo de suelo** en el que infiltran sus aguas domiciliarias y **el tipo de sucesión** vegetacional entre el punto de emisión (léase fosa séptica) y el cuerpo receptor, pueden disminuir la cantidad (carga) de nutrientes que finalmente pudiese llegar a un estero o río cercano, no permitiendo así la identificación de un punto exacto de descarga al río, razón por la cual esta fuente es llamada fuente del tipo "Difuso". Algo similar ocurre con los usos de suelo, es posible encontrar usos con altas emisiones por m^2, pero al momento de evaluar la carga que finalmente llega a un cuerpo receptor el tipo de suelo, la distancia al río y la sucesión vegetacional jugarán un rol importante.

Comprender estas relaciones será clave al momento de realizar una evaluación de emisiones, debido a que, en el caso de las viviendas rurales, no todas son significativas

[1] Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al plan de descontaminacion del Lago Villarrica, MMA-UFRO (2019).

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

respecto del real aporte que podrían estar realizando a un río, no es lo mismo considerar una casa que se encuentra a 4.0 m de distancia de un río que otra similar que se encuentra a 400 m del mismo. De igual forma para los usos de suelo, por ello la importancia de considerar en las modelaciones matemáticas criterios que permitan evaluar tales dimensiones de la información disponible.

Tabla 1. Resumen del inventario de emisiones para la cuenca del Lago Villarrica de acuerdo a MMA-UFRO (2019)[2] determinadas para el escenario de modelación Nº2**.

	Tipo de Fuente	Fuente de información	Clase	Fuente de Emisión	PT (ton/año)	% PT	NT (ton/año)	% NT
1	Difusa	Mesa Técnica (Aguas Araucanía)	A	Viviendas urbanas sin alcantarillado (Villarrica y Pucón)	5.20	1.8%	33.8	2.3%
2	Difusa	INE (pre censo 2016)	B	Viviendas rurales	30.03	10.5%	195.2	13.3%
3	Difusa	(MMA-UFRO, 2018), Tabla 23, ley de Fick con base 100 años)	C	Fosas, hoteles y condominios borde lago (ribera sur)	24.72	8.7%	120.6	8.2%
4	Difusa	Mesa Técnica (M. Pucón)	D	Termas (Pucón)	1.97	0.7%	4.9	0.3%
5	Difusa	MMA-UFRO (2019)	E	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	173.89	61.0%	531.1	36.1%
6	Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	F	Colector O'Higgins *	2.48	0.9%	5.7	0.4%
7	Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	G	Puente Carmelito *	0.05	0.0%	0.0	0.0%
8	Puntual	Mesa Técnica (Municipalidad Pucón)	H	Puente Candelaria *	1.58	0.6%	1.9	0.1%
9	Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	I	Frente PUCV	0.03	0.0%	1.8	0.1%
10	Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	J	Castillo, Zona norte	0.31	0.1%	8.7	0.6%
11	Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	K	Sector Carmelito	1.05	0.4%	16.5	1.1%
12	Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	L	Estero Carmelito	0.29	0.1%	5.4	0.4%
13	Puntual	Mesa Técnica (Directemar)	M	Costanera Villarrica	0.16	0.1%	16.2	1.1%
14	Puntual	MMA-UFRO (2019)	N	AS Curarrehue	4.88	1.7%	23.1	1.6%
15	Puntual	MMA-UFRO (2019)	K	PTAS Pucón	2.76	1.0%	31.3	2.1%
16	Puntual	MMA-UFRO (2019)	O	Pisciculturas	35.78	12.5%	475.2	32.3%
				TOTAL	285.18	100%	1471.5	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. (**) Para mayor detalle respecto del Escenario de modelación referido, dirigirse al estudio MMA-UFRO (2019)[2].

[2] Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al plan de descontaminacion del Lago Villarrica, MMA-UFRO (2019).

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

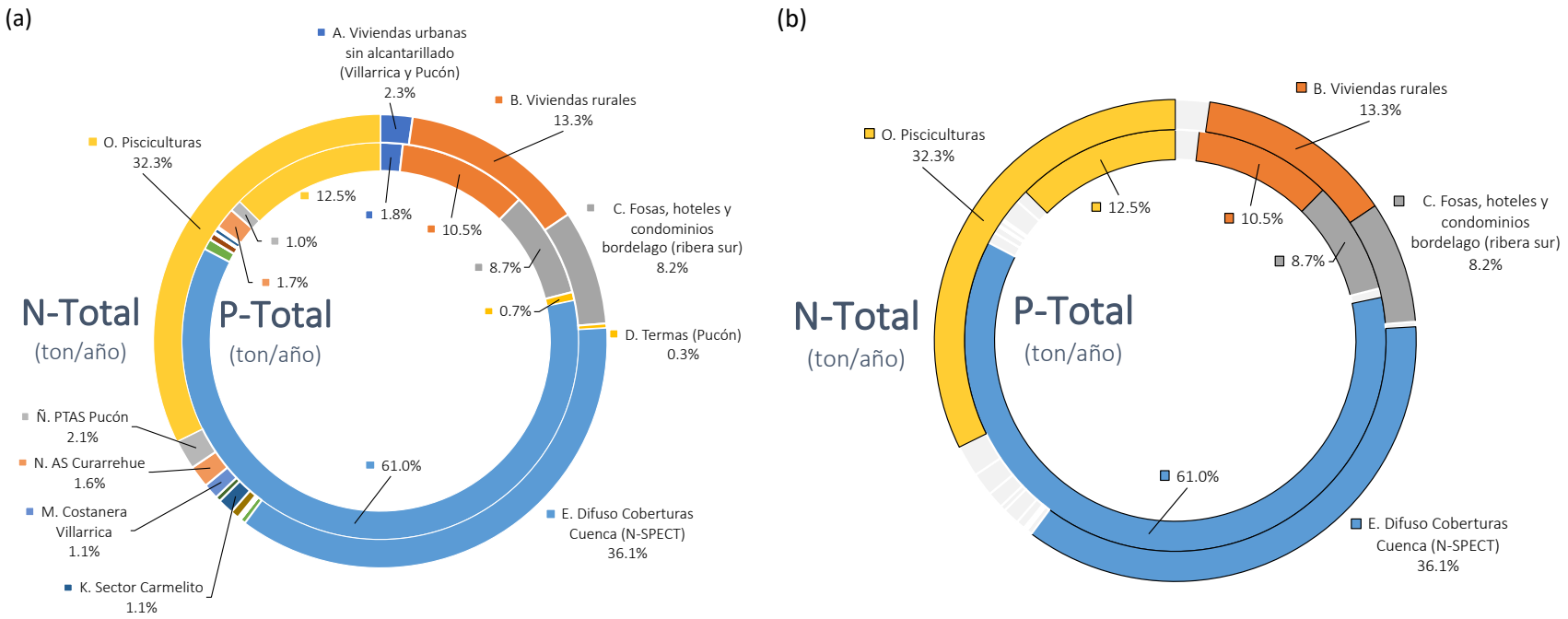


Figura 2. Resumen de emisiones por fuente según estudio MMA-UFRO (2019) para el escenario de emisiones Nº2. (a) Total de fuentes y su participación en las emisiones totales. (b) Corresponde a las fuentes de emisión más importantes, las cuales se han aislado de las de menor peso porcentual.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

METODOLOGÍA

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

4. METODOLOGÍA UTILIZADA

4.1. (OE1) Estimar aportes de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

Actividad 4.1.1. Analizar y sistematizar los aportes de nutrientes desde fuentes puntuales y difusas obtenidos durante el año 2018.

Esta actividad consistirá en analizar y sistematizar la información existente reunida durante el año 2018 por la Mesa Técnica del Lago Villarrica y que se encuentra disponible por la contraparte técnica en base a las actividades emisoras de la cuenca.

Se espera un levantamiento de información relevante para el cálculo de los aportes de nutrientes. Esto se llevará a cabo mediante información de estudios anteriores y bases de datos existente de las distintas instituciones públicas.

Actividad 4.1.2. Actualización del inventario de emisiones.

Se realizará una estimación del aporte en Kg/año de fósforo y nitrógeno, para fuentes definidas en conjunto con la contraparte técnica y en base a la información disponible a la fecha, tales como viviendas no conectadas a alcantarillado, fosas sépticas asociadas al sector turístico, aplicación de fertilizantes al sector agrícola, extracción de áridos, entre otras fuentes que permitan complementar el inventario de emisiones.

Esto se llevará acabo luego de la recopilación de información de nuevos proyectos ingresados al SEIA (Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental), para estimar el aporte de nutrientes en Kg/año de nitrógeno y fósforo.

4.2. (OE2) Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

Actividad 4.2.1. Selección de cauces aportantes de relevancia en término del aporte de nutrientes al lago Villarrica.

Se definirá, en conjunto con la contraparte técnica y en base a estudios anteriores realizados, a lo menos 7 cauces aportantes al Lago Villarrica de relevancia en términos del aporte de nutrientes al lago. Asimismo, seleccionar los periodos más relevantes para realizar la medición.

Esto se llevará a cabo previo acuerdo con la contraparte técnica de la consultoría. Se espera la selección de 7 cauces o, en su defecto, la selección de 7 puntos de muestreo con descarga al lago repartidos en la cuenca de estudio.

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

Actividad 4.2.2. Selección estratégica de períodos relevantes para el muestreo de nutrientes en los ríos y esteros tributarios (seleccionados en la Actividad 4.2.1.)

La cantidad de monitoreos será una (1) campaña, la cual será realizada en un período determinado con la contraparte técnica. Serán considerados periodos no monitoreados durante el desarrollo del anterior estudio "Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al Plan de Descontaminación del Lago Villarrica" ejecutado por MMA-UFRO (2019).

Actividad 4.2.3. Muestreo y determinación de nutrientes acorde a lo establecido en la Norma Secundaria (DS Nº19/2013).

Se realizará una campaña de medición de nutrientes: nitrógeno total y disuelto ($N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, y N-NH4, NKT) y fósforo total, y disuelto ($P\text{-}PO_4$) en el punto de descarga al lago Villarrica y en los principales cauces aportantes, definidos en el punto anterior. Las mediciones, deberán ser realizadas por el laboratorio acreditado con Norma Chilena 17025, acorde a lo establecido en el programa de medición y control de la calidad ambiental (PMCCA) de la norma secundaria del lago Villarrica. En cada punto muestreado, se deberá realizar la medición del aforo correspondiente y determinar la carga aportante de PT y NT.

Para esta campaña, los parámetros físico-químicos a ser considerados en cada muestreo serán: $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NH_4$, NTK, $P\text{-}PO_4^3$, P-total, Clorofila-a, pH, Conductividad, Oxígeno Disuelto y Temperatura.

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

Las mediciones serán 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 Superintendecia del Medio Ambiente.

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

Actividad 4.2.4. Validación y comparación de resultados de muestreo con estudios anteriores en la cuenca.

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

Se realizará un análisis y sistematización de la información levantada y discusión respecto a estudios anteriores, analizando la tendencia de concentración y carga de cada uno de los puntos muestreados.

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.

4.3. (OE3) Diseñar y evaluar escenarios de reducción de emisiones.

Actividad 4.3.1. Realización de una revisión bibliográfica de estudios con experiencias a nivel internacional en medidas para reducir las cargas de Nitrógeno y Fósforo de fuentes puntuales y difusas para la recuperación de ecosistemas lacustres similares al lago Villarrica.

Se realizará una revisión de la literatura internacional de las principales medidas de reducción de fósforo y nitrógeno aplicables para fuentes difusas y puntuales para la recuperación de ecosistemas lacustres similares al lago Villarrica.

En esta etapa se identificarán medidas de reducción consensuadas con la contraparte técnica.

Actividad 4.3.2. Diseño de escenarios del conjunto de medidas de reducción de emisiones

Se diseñará, en conjunto con la contraparte técnica e integrantes del comité operativo para la elaboración del plan de descontaminación, un conjunto de escenarios de emisiones y propuestas de medidas para lograr la reducción de nutrientes proveniente de fuentes difusas y puntuales, en la cuenca del lago Villarrica, que permitan alcanzar los valores objetivo, normados en la norma secundaria del lago Villarrica.

Se realizará un proceso de modelación matemática siguiendo la metodología propuesta por MMA-UFRO (2019); para la estimación de carga preveniente desde fuentes puntuales se realizará utilizando el software US EPA WASP y para fuentes difusas el software N-SPECT.

A esto se sumará la información de la nueva campaña de monitoreo, y las posibles nuevas fuentes de información provenientes de otras campañas realizadas (externas a este estudio) en el mismo período de tiempo (año 2019).

La metodología MMA-UFRO (2019) 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; 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, esta diferencia se atribuye a fuentes difusas, lo que luego es corroborado con N-SPECT. 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.

Se establecerán diferentes escenarios de modelación, considerando las medidas de reducción validadas en la Actividad 4.3.1, las cuales deben incluir aspectos relacionados al uso de suelo y a la reducción de emisiones en actividades productivas presentes en la cuenca del Lago Villarrica.

Finalmente, se realizará un análisis de los resultados de los escenarios modelados que permitirá definir las reducciones potenciales y alcanzables a mediano y largo plazo, lo cual contribuirá al objetivo de los valores presentes en la norma secundaria del Lago Villarrica.

Actividad 4.3.3. Diseño ficha técnica de las principales medidas levantadas.

Se realizará una ficha técnica de las principales medidas analizadas, indicando su descripción y reducción de emisiones en el tiempo.

Se llevará a cabo mediante la información obtenida de las medidas, indicando su descripción y reducción de emisión en el tiempo, la cual incorpore la totalidad de los aportes de fuentes puntuales y difusas.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

4.4. (OE4) Capacitación en el uso de WASP y NSPECT.

Actividad 4.4.1. Realización de taller de capacitación para funcionarios públicos del Ministerio del Medio Ambiente.

Con el fin de entregar conocimientos básicos a los actores en el marco de la elaboración del anteproyecto del Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica, se diseñará y ejecutará un taller de 12 horas cronológicas de docencia, en los aspectos de calidad de agua, uso de modelos para fuentes puntuales y difusas, preparación de bases de datos, entre otras temáticas que permitan capacitar "**solo a funcionarios del Ministerio del Medio Ambiente" (requisito y aspecto excluyente)**. Este taller se realizará en conjunto con la contraparte técnica, **en la ciudad de Temuco**, en dependencias de la Universidad de La Frontera, con una **capacidad máxima de 10 personas.** Para el caso, el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua de la Universidad de La Frontera (el oferente) se compromete a facilitar el uso de un auditórium y un servicio de cafetería/snack en el taller. Cada participante tendrá que traer su propio computador portátil, en caso que se indique lo contrario.

Este taller no contempla certificación del área de formación continua de la Universidad de La Frontera.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

RESULTADOS

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

5. RESULTADOS

5.1. (OE1) Estimación del aporte de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

(Estimar aportes de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) en Kg/año, desde fuentes puntuales y difusas en cauces aportantes al Lago Villarrica para completar inventario actual de emisiones).

Respectos a las principales fuentes de emisión, la clasificación se realizará según 3 grandes grupos: viviendas sin conexión a alcantarillado, pisciculturas y uso de suelo.

5.1.1. Análisis y sistematización de los aportes por tipo de fuente.

5.1.1.1 Emisiones de viviendas sin conexión a alcantarillado.

De la información facilitada por la empresa Aguas Araucanía, contenida en el estudio MMA-UFRO (2019) se desprende que en zonas urbanas, entre Villarrica y Pucón, existen alrededor de 2226 casas sin conexión a alcantarillado. Respecto del cálculo de emisiones explicado en el mismo estudio, se ha realizado una corrección al número de personas por vivienda. Originalmente se consideró un factor de 5 personas por vivienda de uso permanente, lo cual se ha cambiado a un factor de 3 personas por vivienda de uso permanente, y 5 para viviendas de temporada, esto se ha establecido en base a datos del Censo 2017 y en coordinación con la contraparte técnica del MMA.

Esto corrige el cálculo de emisiones disminuyen el fósforo y nitrógeno total para el conjunto de viviendas urbanas sin conexión a alcantarillado (ver Tabla 2). Para el caso, se asume un nivel de uso equivalente a 365 días al año como tiempo máximo anual. Por otro lado, y según consideraciones del Ministerio del Medio Ambiente, se asume un 13.4% de las viviendas como de temporada en Villarrica y un 34.3% de las viviendas de temporada en Pucón, esto según datos del Censo 2017 (Temporada equivalente a 60 días). Además, y también según criterios del Ministerio del Medio Ambiente , se considera un 7.3% y un 4.3% de viviendas desocupadas en Villarrica y Pucón respectivamente, esto según datos del Censo 2017.

Tabla 2. Resumen de viviendas dentro de radio urbano sin conexión a alcantarillado ubicadas en Villarrica y Pucón.

Ciudad	N° Total de Viviendas	N° de Viviendas Temporada	N° viviendas vacías*	Personas	N° Personas en temporada	N° Personas Todo el Año	PT (ton/año)	NT (ton/año)
Villarrica	569	76.2	41.5	3	228.7	1353.7	0.6	4.2
Pucón	1963	673.3	84.4	3	2019.9	3615.8	1.8	12.0
TOTAL	**2532**	**749.6**	**125.9**		**2248.7**	**4969.5**	**2.5**	**16.2**

*El número de viviendas vacías se resta del cálculo de emisiones.

Para efectos del estudio MMA-UFRO (2019), las viviendas urbanas sin conexión a alcantarillado no fueron incorporadas en la modelación de transporte de nutrientes debido a que no es posible asociarlas a un cuerpo de agua receptor. Esta suposición se mantendrá en el presente estudio.

Respecto de las viviendas rurales sin conexión a alcantarillado se propone la siguiente definición para dividirlas en 3 conjuntos diferentes:

a) Viviendas de borde lago
b) Viviendas de borde río
c) Viviendas de contorno

Donde las **(a)** viviendas de borde lago son todas aquellas que se encuentren entre las coordenadas WGS 84 UTM Huso 19 Sur (x, y) 222749, 5645928 (Villarrica) y 242939, 5647728 (Pucón) de la ribera sur del lago Villarrica a la ruta S-199 (MMA-UFRO, 2018), éstas no son consideradas como viviendas de carácter rural al encontrarse dentro del Plan Regulador Intercomunal (Villarrica-Pucón) como zona urbana. Las **(b)** viviendas de borde río son todas aquellas que se encuentren dentro de una zona buffer de 200 metros por cada lado de la ribera de un río o estero dentro de la zona de estudio (ver ejemplo en Figura 3). Por último, las **(c)** viviendas de contorno serán todas aquellas que se encuentren dentro de la zona de estudio pero que a su vez se encuentran fuera de los conjuntos **(a)** y **(b)** recién descritos.

Al igual que las viviendas urbanas, las emisiones calculadas para viviendas rurales estimadas por MMA-UFRO (2019) y MMA-UFRO (2018) deben ser corregidas por el nuevo número de personas por vivienda.

La Tabla 3 presenta el resumen total de viviendas rurales sin conexión a alcantarillado presentes en la cuenca del Lago Villarrica, donde es posible observar que la comuna de Pucón es la que más viviendas presenta.

Al igual que en las viviendas urbanas, y según consideraciones del Ministerio del Medio Ambiente, se asume el siguiente criterio de uso de acuerdo a datos del Censo 2017.

Tabla 3. Resumen de viviendas rurales (borde río y de contorno) ubicadas en la cuenca del Lago Villarrica.

Comunas y localidades	Tipo de Vivendas	Factor %	N° viviendas	Personas	Nº Total personas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)	%
Villarrica	Ocupada	59.5	2385	3	7154	365	3.34	21.73	**23.8**
	Desocupada	7.0	279	3	838	365	-	-	**-**
	Temporada	33.6	1346	5	6729	60	0.52	3.36	**3.7**
	Sub Total	**100**	**4010**		**14722**		**3.86**	**25.09**	**27.5**
Pucón	Ocupada	56.5	4712	3	14136	365	6.60	42.93	**47.1**
	Desocupada	4.8	404	3	1212	365	-	-	**-**
	Temporada	38.6	3218	5	16091	60	1.24	8.03	**8.8**
	Sub Total	**100**	**8334**		**31438**		**7.84**	**50.96**	**55.9**
Curarrehue	Ocupada	78.1	1187	3	3562	365	1.66	10.82	**11.9**
	Desocupada	10.2	155	3	464	365	-	-	**-**
	Temporada	11.7	178	5	890	60	0.07	0.44	**0.5**
	Sub Total	**100**	**1520**		**4916**		**1.73**	**11.26**	**12.4**
Caburgua	Ocupada	56.5	361	3	1082	365	0.51	3.29	**3.6**
	Desocupada	4.8	31	3	93	365	-	-	**-**
	Temporada	38.6	246	5	1232	60	0.09	0.61	**0.7**
	Sub Total	**100**	**638**		**2407**		**0.60**	**3.90**	**4.3**
	Total		**14502**		**53482**		**14.03**	**91.21**	**100**

El desglose de viviendas rurales sin conexión a alcantarillado, segregado por categorías se presenta a continuación.

a) Viviendas de borde lago

Las viviendas de borde lago no son consideradas como viviendas rurales ya que el plan regulador actual las considera como viviendas de carácter urbano. La Tabla 4 presenta el resumen de viviendas, divididas entre habitaciones de veraneo, desocupadas y habitaciones de uso permanente. El cálculo de las emisiones se ha realizado según la metodología propuesta por MMA-UACH (2009).

Del cálculo se desprende que el aporte total de fósforo correspondería a 1.23 ton/año y el aporte total de nitrógeno correspondería 7.99 ton/año. De estas emisiones, un 88.8% vendría de las casas ubicadas en la ribera sur del Lago Villarrica.

b) Viviendas de borde río

En esta categoría se estiman emisiones totales de 4.1 ton/año para fósforo total y 26.6 ton/año de nitrógeno total, ello asociado a un total de 4046 viviendas, de las cuales 710

pertenecen a la comuna de Villarrica, 1961 a la de Pucón y 1375 a la de Curarrehue. La Tabla 5 presenta el resumen categorizado de las viviendas de borde río, donde un 45% de las emisiones provendría de la comuna de Pucón y un 38% de la comuna de Curarrehue.

c) Viviendas de contorno

Respecto de las viviendas de contorno, éstas generan una emisión estimada de 8.72 ton/año de Fósforo Total y 56.65 ton/año de Nitrógeno Total, pero el hecho de que tengan esta emisión, para el caso del presente estudio, no tendrá relación con las descargas asociadas al Lago Villarrica, esto se deberá a la distancia de cada una de ellas a ríos o cuerpos de agua receptores, por lo cual, dichas emisiones no serán consideradas en el cálculo.

Tabla 4. Viviendas de borde lago: cálculo de emisiones de N total y P total para fosas sépticas según MMA-UFRO (2018).

Borde del Lago	Tipo	Tipo de Vivendas	Factor %	Nº viviendas	Personas	N° Total Personas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)	%
Norte	Villarrica	Ocupada	59.5	73	3	218	365	0.10	0.66	8.28
		Desocupada	7.0	9	-	-	-	-	-	-
		Temporada	33.6	41	5	205	60	0.02	0.10	1.28
		Sub Total	**100**	**123**	**-**	**422**	**-**	**0.12**	**0.76**	**9.56**
	Pucón	Ocupada	56.5	8	3	24	365	0.01	0.07	0.90
		Desocupada	4.8	1	-	-	-	-	-	-
		Temporada	38.6	5	5	27	60	0.00	0.01	0.17
		Sub Total	**100**	**14**	**-**	**51**	**-**	**0.01**	**0.09**	**1.07**
			Subtotal Norte	**136**		**473**		**0.13**	**0.85**	**10.63**
Sur	Villarrica	Ocupada	59.5	550	3	1649	365	0.77	5.01	62.68
		Desocupada	7.0	64	-	-	-	-	-	-
		Temporada	33.6	310	5	1550	60	0.12	0.77	9.69
		Sub Total	**100**	**924**	**-**	**3199**	**-**	**0.89**	**5.78**	**72.37**
	Pucón	Ocupada	56.5	121	3	363	365	0.17	1.10	13.80
		Desocupada	4.8	10	-	-	-	-	-	-
		Temporada	38.6	83	5	413	60	0.03	0.21	2.58
		Sub Total	**100**	**214**	**-**	**776**	**-**	**0.20**	**1.31**	**16.38**
			Subtotal Casas Sur	**1138**		**3975**	**-**	**1**	**7**	**88.8**
		Hoteles		3	[a]	99	60	0.01	0.05	0.6
			Subtotal Sur	**1141**	**-**	**4074**	**-**	**1.10**	**7.14**	**89.4**
			TOTAL	**1277**		**4547**		**1.23**	**7.99**	**100**

[a] Se estimó la cantidad de ocupantes según la capacidad de la habitación establecida por el hotel en su página web.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 5. Viviendas de borde río: cálculo de emisiones de N total y P total para fosas sépticas asociadas a un buffer de 200m sobre la red hídrica de la cuenca del Lago Villarrica.

Comuna	Tipo de Vivendas	Factor %	N° viviendas	Personas	Nº Total personas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)	%
Villarrica	Ocupada	59.5	422	3	1267	365	0.59	3.85	14.5
	Desocupada	7.0	49	3	148	365	-	-	-
	Temporada	33.6	238	5	1191	60	0.09	0.59	2.2
	Sub Total	**100**	**709**		**2607**		**0.68**	**4.44**	**16.7**
Pucón	Ocupada	56.5	1109	3	3326	365	1.55	10.10	37.9
	Desocupada	4.8	95	3	285	365	-	-	-
	Temporada	38.6	757	5	3786	60	0.29	1.89	7.1
	Sub Total	**100**	**1961**		**7397**		**1.84**	**11.99**	**45.0**
Curarrehue	Ocupada	78.1	1074	3	3222	365	1.51	9.79	36.8
	Desocupada	10.2	140	3	420	365	-	-	-
	Temporada	11.7	161	5	805	60	0.06	0.40	1.5
	Sub Total	**100**	**1375**		**4447**		**1.57**	**10.19**	**38.3**
	Total		**4046**		**14451**		**4.1**	**26.6**	**100**

Tabla 6. Viviendas de contorno: cálculo de emisiones de N total y P total para fosas sépticas.

Comunas y localidades	Tipo de Vivendas	Factor %	N° viviendas	Personas	Nº Total personas	Tiempo (días)	PT (ton/año)	NT (ton/año)	%
Villarrica	Ocupada	59.5	1340	3	4021	365	1.88	12.21	21.6
	Desocupada	7.0	157	3	471	365	-	-	-
	Temporada	33.6	756	5	3782	60	0.29	1.89	3.3
	Sub Total	**100**	**2253**		**8274**		**2.17**	**14.10**	**24.9**
Pucón	Ocupada	56.5	3474	3	10423	365	4.87	31.65	55.9
	Desocupada	4.8	298	3	894	365	-	-	-
	Temporada	38.6	2373	5	11864	60	0.91	5.92	10.5
	Sub Total	**100**	**6145**		**23181**		**5.78**	**37.57**	**66.3**
Curarrehue	Ocupada	78.1	113	3	340	365	0.16	1.03	1.8
	Desocupada	10.2	15	3	44	365	-	-	-
	Temporada	11.7	17	5	85	60	0.01	0.04	0.1
	Sub Total	**100**	**145**		**469**		**0.17**	**1.07**	**1.9**
Caburgua	Ocupada	56.5	361	3	1082	365	0.51	3.29	5.8
	Desocupada	4.8	31	3	93	365	-	-	-
	Temporada	38.6	246	5	1232	60	0.09	0.61	1.1
	Sub Total	**100**	**638**		**2407**		**0.60**	**3.90**	**6.9**
	Total		**9182**		**34331**		**8.72**	**56.65**	**100**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

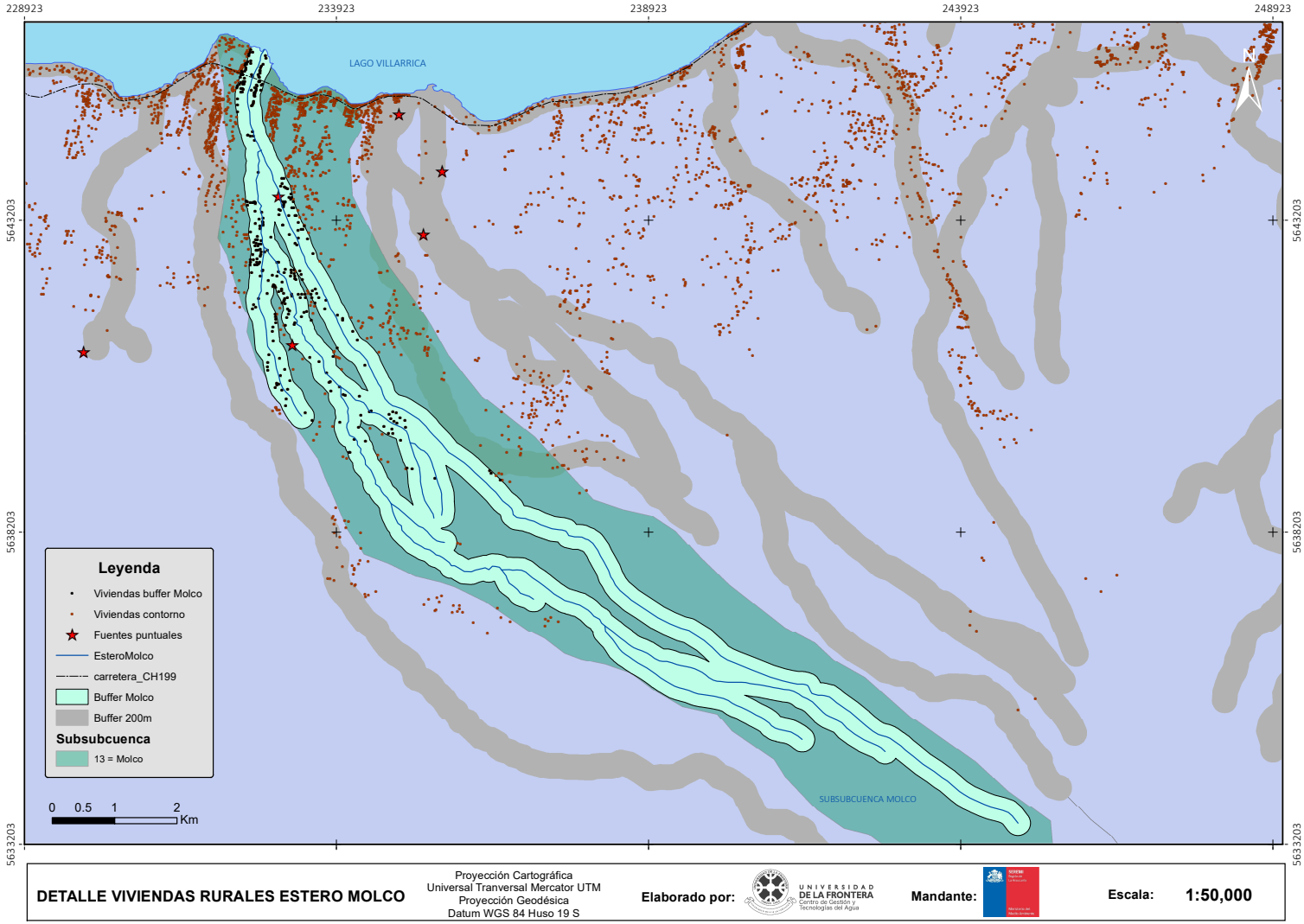


Figura 3. Ejemplo de definición de zona buffer para Estero Molco.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

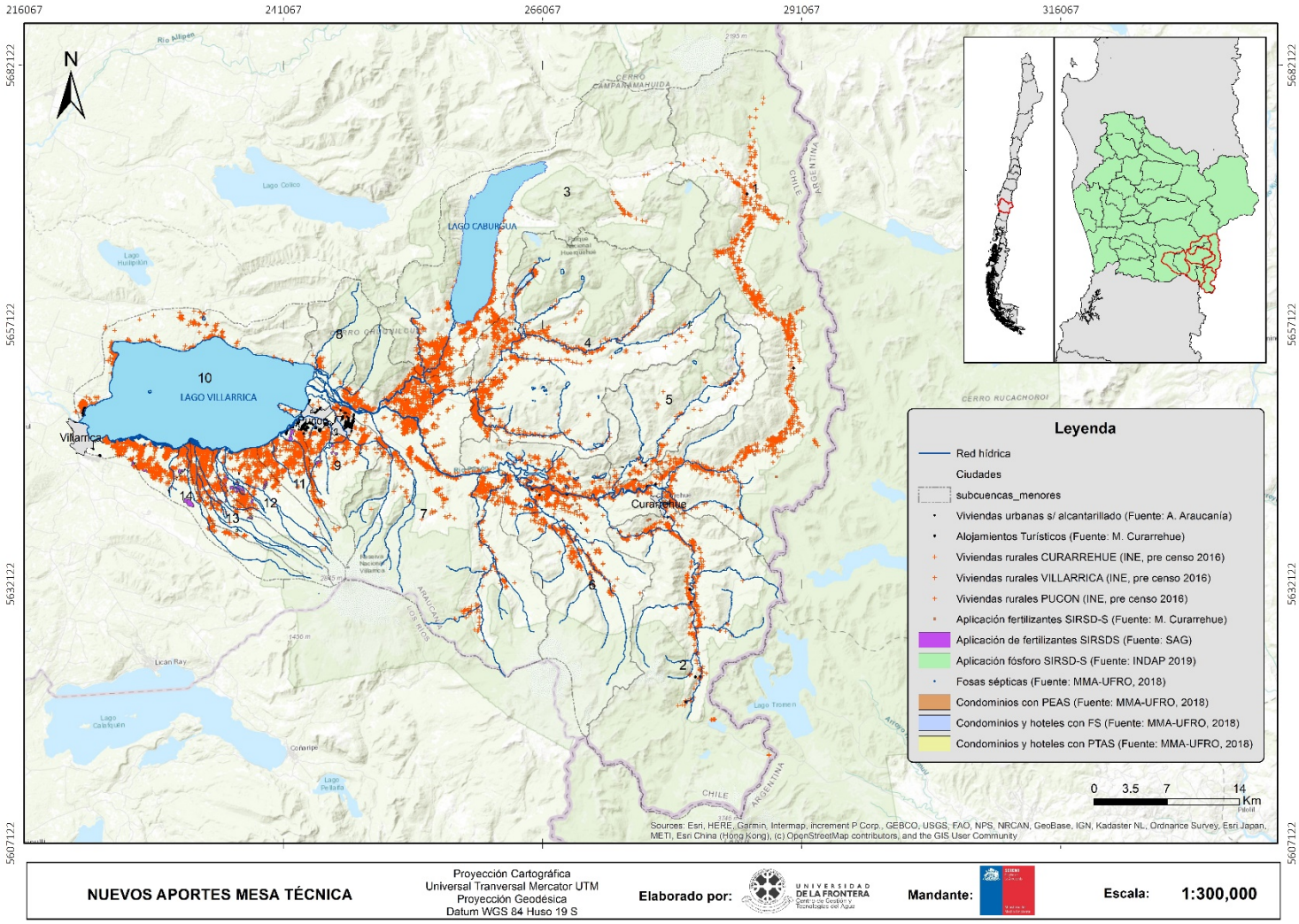


Figura 4. Nuevos aportes levantados en la cuenca del Lago Villarrica.

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

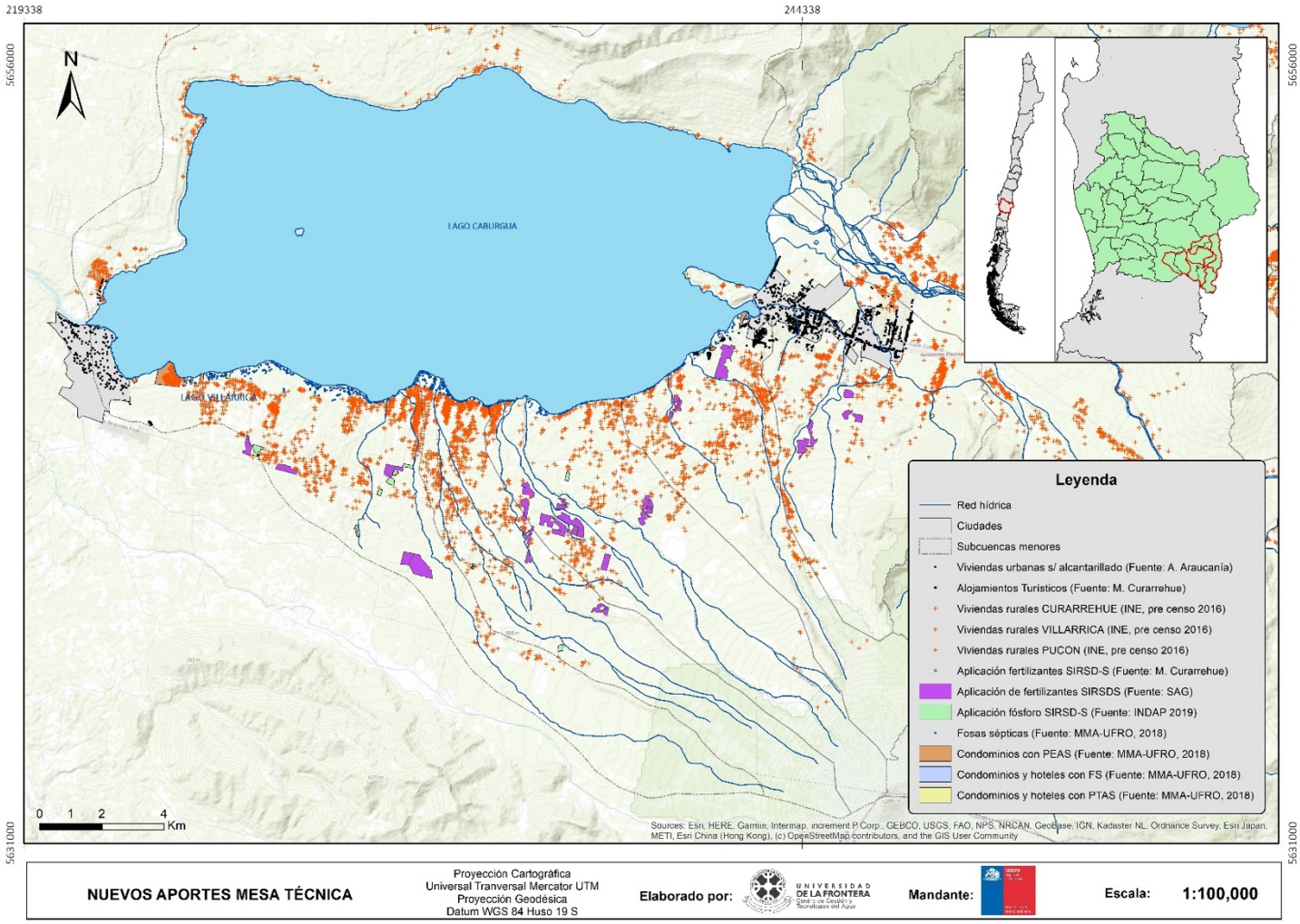


Figura 5. Detalle de nuevos aportes levantados en la cuenca del Lago Villarrica.

5.1.1.2 Emisiones de Fuentes Puntuales

En el estudio MMA-UFRO (2019) fueron considerados 2 escenarios de cálculo para las Pisciculturas, donde se establecía que:

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.

Para las estimaciones y cálculos del presente estudio solo será considerado el segundo escenario.

Respecto del informe MMA-UFRO (2019) y relacionado a las pisciculturas, se ha realizado la siguiente modificación:

La base de datos de las emisiones declaradas a partir de autocontroles ha sido actualizada, la nueva base de datos actualizada corresponde emisiones del año 2017 (año base de cálculo) actualizada hasta noviembre del año 2019 la que ha sido utilizada para realizar los nuevos cálculos de emisiones de fuentes puntuales, esta nueva base incluye información que antes no había sido posible obtener por no disponibilidad, por lo cual todos los cálculos se han realizado nuevamente desde cero. El nombre del archivo es "Emisiones 2017-01_Act2019-11-01.xls" y es posible encontrar el archivo en el siguiente link: http://snifa.sma.gob.cl/v2/DatosAbiertos en la sección "RILES", la cual es información pública.

Se ha incorporado una nueva serie de datos de emisiones que, por una confusión arrastrada desde MMA-UFRO (2018), no se había incorporado al inventario de emisiones. Esto corresponde a las emisiones de la empresa Hendrix Genetics Aquaculture S.A. La Tabla 9 presenta un compendio de las principales empresas con descargas directas a un río o estero en la zona de estudio. La confusión está relacionada con el nombre de fantasía de las empresas con ID P11 y P12, en las bases de datos originales ambas tienen el mismo nombre de fantasía "Catripulli", y ambas tienen descarga en el Estero Huililco. Esto llevó a la conclusión errada, en su momento, de que ambas descargas se trataban de la misma piscicultura, por lo que a Hendrix se le asignó una de las descargas de P11. El error ha sido corregido y se han diferenciados las pisciculturas.

Respecto del cálculo de emisiones de Nitrógeno y Fósforo Total, se presentan 2 tablas que muestran dos métodos diferentes de cálculo. La Tabla 7 presenta los valores de carga obtenidos a partir de la concentración promedio y el caudal del efluente promedio anual,

de esta manera las cargas estimadas anuales son promedios. Por otro lado, la Tabla 8 presenta el cálculo de emisiones puntuales a partir de la sumatoria de las series de tiempo de los valores declarados de forma mensual, restando a cada serie el valor de la condición de borde estimada a partir de los monitoreos realizados por el Centro del Agua (UFRO) en el período 2017.

Es importante destacar que para las modelaciones matemáticas se han utilizado las series correspondientes al segundo método (Método 2), dado que representa de mejor forma el comportamiento de las emisiones. La Figura 6 presenta un resumen comparativo de ambos métodos en la distribución porcentual de emisiones por fuente puntual, donde se observa que para en emisiones de Nitrógeno total las pisciculturas Los Fiordos (31.3% – 32.8%) y Hendrix (21.5% – 24.6%) son las que participan del 50% de las emisiones totales en el cálculo de ambos métodos. Para el Fósforo total se observan diferencias entre ambos métodos; en el Método 1 el 60% de las emisiones se concentran en 3 pisciculturas Los Fiordos (29%), Hendrix (17.6%) y Quimeyco (13.3%). Esto cambia en el Método 2, donde son 5 las pisciculturas con mayor participación Los Fiordos (35.3%), Hendrix (20%), Molco (13.5%), Quimeyco (7.6%) y Caburgua II (7.4%).

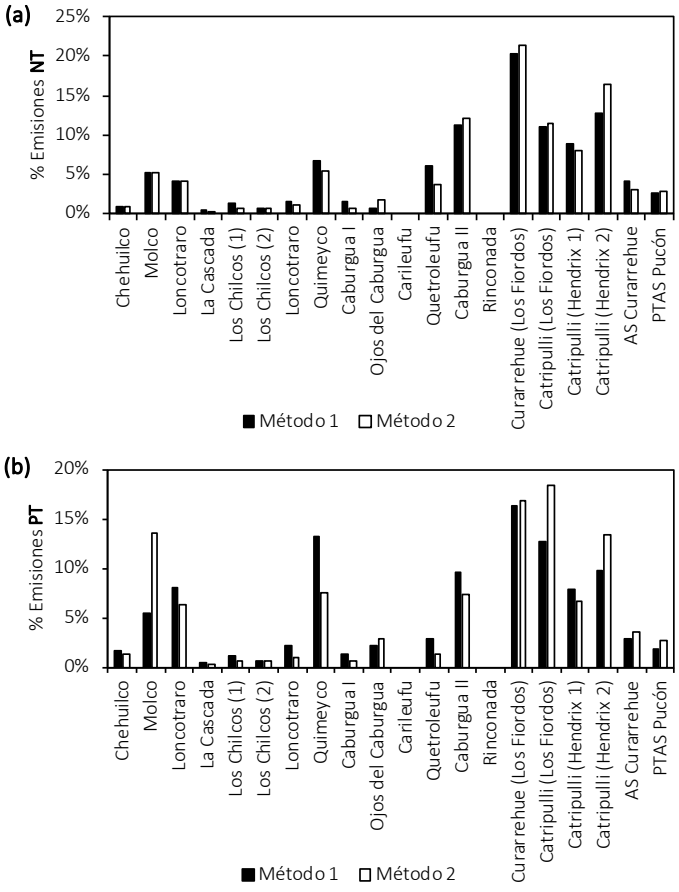


Figura 6. Comparación de variación en el cálculo de emisiones según el método empleado Método 1 (promedios) o Método 2 (sumatoria de series de tiempo)

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 7. Cálculo de emisiones puntuales a partir del promedio anual de los valores reportados para N Total y P Total.

	ID	Nombre de Fantasía	Río o Estero de Descraga	Caudal	NT			PT		
				m3/día	mg/L	ton/año	%	mg/L	ton/año	%
1	P4	Chehuilco	Estero Molco	10118.4	1.700	6.278	0.8%	0.700	2.500	1.6%
2	P2	Molco	Estero Molco	30473.2	3.800	42.266	5.1%	0.800	8.600	5.4%
3	P3	Loncotraro	Estero Loncotraro	53182.8	1.800	34.941	4.2%	0.700	12.800	8.0%
4	P5	La Cascada	Estero Correntoso	4351.7	2.500	3.971	0.5%	0.500	0.800	0.5%
5	P1	Los Chilcos (1)	Estero Los Chilcos	11846.1	2.700	11.674	1.4%	0.400	1.800	1.1%
	P1	Los Chilcos (2)	Estero Los Chilcos	5299.9	3.100	5.997	0.7%	0.500	0.900	0.6%
6	P3	Loncotraro	Estero Los Chilcos	16205.1	2.300	13.604	1.6%	0.600	3.500	2.2%
7	P10	Quimeyco	Estero Carhuello	97434.7	1.600	56.902	6.8%	0.600	21.300	13.3%
8	P7	Caburgua I	Río Caburgua	8976	3.700	12.122	1.5%	0.700	2.200	1.4%
9	P8	Ojos del Caburgua	Estero Carileufu	8069.6	2.100	6.185	0.7%	1.200	3.400	2.1%
10	P9	Carileufu	Estero Carileufu	-	-	-	-	-	-	-
11	P6	Quetroleufu	Estero Quetroleufu	36883.9	3.700	49.812	6.0%	0.400	4.700	2.9%
12	P14	Caburgua II	Estero Quetroleufu	65985.8	3.900	93.931	11.2%	0.600	15.300	9.6%
13	P13	Rinconada	Estero Loncofilo	-	-	-	-	-	-	-
14	P11	Curarrehue (Los Fiordos)	Estero La Máquina	136783	3.400	169.748	20.3%	0.500	26.000	16.3%
15	P11	Catripulli (Los Fiordos)	Estero Hulilco	87030	2.900	92.121	11.0%	0.600	20.300	12.7%
16	P12	Catripulli (Hendrix 1)	Estero Hulilco	56242.9	3.600	73.903	8.8%	0.600	12.500	7.8%
	P12	Catripulli (Hendrix 2)	Estero Hulilco	82791	3.500	105.766	12.7%	0.500	15.700	9.8%
17	AS	AS Curarrehue*	Río Trancura	-	-	34.437	4.1%	-	4.477	2.8%
18	PTAS	PTAS Pucón	Río Claro	8767	6.740	21.568	2.6%	0.940	3.000	1.9%
		TOTAL				**835.227**	**100.0**		**159.777**	**100.0**

*El cálculo para las Aguas Servidas de Curarrehue viene de mediciones de calidad y caudal aguas arriba de la comuna y aguas debajo de los 7 emisarios de aguas servidas. A estos valores de carga calculada fue necesario aplicar un factor de corrección dado que no eran coincidentes con el tamaño poblacional de la zona urbana de la comuna (2067 habitantes).

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 8. Cálculo de emisiones puntuales a partir de la sumatoria de las series de tiempo de valores declarados y calculados para cada fuente puntual, restando a cada serie el valor de la condición de borde, para N-Total y P-Total.

	ID	Nombre de Fantasía	Río o Estero de Descraga	Declarado N-Total (ton/año)		Declarado P-Total (ton/año)	
1	P4	Chehuilco	Estero Molco	6.41	0.8%	1.21	0.98%
2	P2	Molco	Estero Molco	38.95	5.1%	8.08	6.52%
3	P3	Loncotraro	Estero Loncotraro	31.22	4.1%	8.52	6.87%
4	P5	La Cascada	Estero Correntoso	2.64	0.3%	0.393	0.32%
5	P1	Los Chilcos (1)	Estero Los Chilcos	5.00	0.7%	0.856	0.69%
	P1	Los Chilcos (2)	Estero Los Chilcos	4.30	0.6%	0.79	0.64%
6	P3	Loncotraro	Estero Los Chilcos	8.20	1.1%	1.26	1.02%
7	P10	Quimeyco	Estero Carhuello	42.45	5.5%	10.2	8.22%
8	P7	Caburgua I	Río Caburgua	5.40	0.7%	0.87	0.70%
9	P8	Ojos del Caburgua	Estero Carileufu	13.5	1.8%	3.72	3.00%
10	P9	Carileufu	Estero Carileufu	0.00	0.0%	0	0.00%
11	P6	Quetroleufu	Estero Quetroleufu	28.47	3.7%	1.7	1.37%
12	P14	Caburgua II	Estero Quetroleufu	93.30	12.2%	10.02	8.08%
13	P13	Rinconada	Estero Loncofilo	0.00	0.0%	0	0.00%
14	P11	Curarrehue (Los Fiordos)	Estero La Máquina	164.03	21.4%	22.68	18.29%
15	P11	Catripulli (Los Fiordos)	Estero Hulilco	87.46	11.4%	18.18	14.66%
16	P12	Catripulli (Hendrix 1)	Estero Hulilco	62.39	8.1%	8.958	7.22%
	P12	Catripulli (Hendrix 2)	Estero Hulilco	126.27	16.5%	18.11	14.60%
17	AS	AS Curarrehue	Río Trancura	23.10	3.0%	4.88	3.93%
18	PTAS	PTAS Pucón	Río Claro	22.10	2.9%	3.59	2.89%
		TOTAL		**765.7**	**100**	**124.01**	**100**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 9. Identificación de pisciculturas en la cuenca del Lago Villarrica.

Código RPM (1)	Código RNA (2)	ID	Nombre de la Empresa	Nombre de Fantasía	Coordenadas(3) X	Coordenadas(3) Y	Operativa(4)	Inicio de(4) Actividades
238	90050	P1	Soc. Fundo La Cascada Ltda. / Granja Marina Tornagelones S.A.	Los Chilcos	235318	5642971	Si	1993
2445	90085	P2	Salmones Multiexport S.A.	Molco	233215	5641202	Si	2001
2955	90055	P3	Trusal S.A./ Aquagen Chile S.A.	Loncotraro	234923	5644894	Si	1992
2877	90112	P4	Soc. Comercial Agrícola y Forestal Nalcahue Ltda.	Chehuilco	232997	5643583	Si	1996
4704	90030	P5	Soc. Fundo La Cascada Ltda. / Granja Marina Tornagelones S.A.	La Cascada	235616	5643981	Si	1998
3220	90069	P6	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Quetroleufu	255549	5650113	Si	1999
2861	90060	P7	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Caburgua I	254866	5652694	Si	1999
-	90059	P8	Piscícola Huililco Ltda.	Ojos del Caburgua	255325	5652759	Si	1996
	90145	P9	Enrique Castillo Colihueque	Carileufu	255295	5652547	No	2011
322	90068	P10	Pacific Star / Trusal S.A.	Quimeyco	254660	5652757	Si	2000
114	90118	P11	Exportadora Los Fiordos Ltda.	Curarrehue	268561	5637590	Si	1989
4495	90137	P11	Exportadora Los Fiordos Ltda.	Catripulli	268561	5637590	Si	1997
4925	90062	P12	Hendrix Genetics Aquaculture S.A.	Catripulli	269148	5636423	SI	-
	90064	P13	Inversiones Selknam SPA	Rinconada	267034	5637473	No	1997
2854	90089	P14	Piscicultura Aquasan S.A./Aquachile S.A.	Caburgua II	255566	5649965	Si	2002
-	90139	P15	Ricardo Massmann Schilling	Alto Lefún	229876	5641089	Si	Sin información
-	-	PTAS	Planta de Aguas Servidas de Pucón	PTAS Pucón	244496	5649705	Si	-
-	-	AS	7 emisarios de Aguas Servidas Curarrehue	AS Curarrehue	277196	5639983	-	-

(1) Información proporcionada por la Superintendencia del Medio Ambiente, en septiembre de 2018. Las pisciculturas operativas en el 2017 cuentan con código RPM; el guion (-) refleja que no se encontró código; las que tienen este campo vacío no están operativas para ese periodo. (2) Información proporcionada por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura/Secretaría Ministerial del Medioambiente región de La Araucanía, en mayo de 2018. (3) Sistema de Coordenadas WGS 84 UTM Huso 19 Sur. Tomadas de imágenes satelitales en SIG 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.

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

5.1.1.3 Emisiones cobertura de suelos (NSPECT)

La Figura 7 presenta un resumen de las 14 sub-subcuencas consideradas para la evaluación de las emisiones provenientes de los diferentes usos de suelo registrados en la zona de estudio.

Respecto del cálculo de emisiones, la cuenca debió ser redelimitada para identificar todas las sub-subcuencas presentes, esto influye en la estimación de las emisiones de Fósforo y Nitrógeno total, disminuyendo un 1.8% el Fósforo Total y aumentando un 16.7% el Nitrógeno Total respecto de lo informado en MMA-UFRO (2019), comparar Tabla 1 ítem 5 y el total de la Tabla 10.

La Tabla 10 presenta el desglose de cargas por sub-subcuenca y la Figura 8 la participación porcentual de cada una de ellas del total. El cálculo fue determinado al cierre da cada una de las sub-sub-cuencas. De ello se desprende que son 7 de las 14 sub cuencas las que más Fósforo y Nitrógeno aportan; éstas son Maichín-Sub.C-1 (NT:18.6%, PT:18.7%), Trancura-Sub.C-2 (NT:13.1%, PT:13.1%), Caburgua-Sub.C-3 (NT:14.5%, PT:14.7%), Liucura-Sub.C-4 (NT:14.7%; PT:13.8%), Pangui-Sub.C-5 (NT:5.1%; PT:4.5%), Pucón1-Sub.C-6 (NT:10.5%, PT:12.0%) y Palguín-Menetúe-Sub.C-7 (NT:11.0%, PT:11.8%), siendo Maichín-Sub.C-1 la que más carga aporta. En el Anexo 1 se presenta un resumen cartográfico de la carga de Nitrógeno y Fósforo total respectivamente.

La Figura 9 presenta la distribución de la carga de Nitrógeno y Fósforo Total por coberturas. De la Figura 9a y Figura 9b se desprende que Bosque Nativo de Hoja Ancha Primaria (cob-4), Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5), Praderas Anuales (cob-9), Otros Pastizales (cob-11) y Matorrales (cob-13) son las cinco clases de coberturas de suelo que más aportan anualmente (NT y PT) de forma difusa, representando el 93.61% del Nitrógeno Total y el 85.95% del Fósforo Total emitido por coberturas.

Respecto de la carga por cobertura corregida por el área que ocupan en la cuenca (ton/año/ha), la Figura 9c-d muestra que la cobertura Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5) es una de las que menos emisiones presenta por superficie (ha), por lo que la reforestación con este tipo de cobertura es altamente recomendable, al igual la utilización de Bosque Nativo de Hoja Ancha Primaria (cob-4).

Por otro lado, la Tabla 11 y Figura 10 presentan el aporte de Nitrógeno Total y Fósforo Total Acumulado por pixel, tanto por cobertura, como por sub-sub-cuenca de forma local[iii]. Este análisis no considera el efecto del transporte, evalúa lo que se genera de forma puntual en cada pixel, el cual se encuentra asociado a un tipo de cobertura

[iii] Valor acumulado en cada pixel de 30x30 m sin considerar escorrentía.

particular. Los pixeles son de 30x30m, y los valores presentados corresponden a la sumatoria del acumulado en cada pixel en un año (sin considerar escorrentía).

Respecto del Nitrógeno Total, se desprende que las coberturas antes mencionadas (4, 5, 9, 11 y 13) son las que más impacto tienen actualmente en la carga difusa de Nitrógeno Total en la Cuenca del Lago Villarrica (ver Figura 10a).

Respecto del Fósforo Total, es la cobertura Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5) la que más aporta, esto se debe a que es la cobertura de mayor extensión dentro de la cuenca, representando el 48.3% de la superficie total (ver Figura 10c). Respecto de las sub-sub-cuencas, no se observa una gran diferenciación respecto del aporte local[iv]. Esto último no debe ser confundido con los presentado en la Figura 8, la cual muestra la carga por cada sub-sub-cuenca sólo en el punto de cierre de cada una de ellas (valor acumulado, considerando el efecto del transporte). El Anexo 2 presenta el resumen del aporte por cobertura para cada sub-sub-cuenca.

Por último, Figura 11 presenta una diferenciación de los aportes relacionados a las distintas coberturas de la cuenca, en función de aquellas asociadas a una intervención Antrópica y aquellas de carácter Natural. Para esta diferenciación se ha asumido como Coberturas Antrópicas: 1, 2, 7, 8, 9, 10, 16 y como Coberturas Naturales: 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19; la Tabla 11 contiene la clasificación de coberturas.

De esta análisis se desprende que el aporte antrópico relacionado a NT y PT en ton/año corresponde de n 3 a un 4%, mientras que el natural representa un 96 a un 97%. Ahora, cuando los valores globales de emisión son corregidos por la cantidad total de hectárteas de cobertura antrópica y natural, el aporte antrópico de NT en ton/año/ha es de un 35% y para PT un 29%, mientras que el aporte natural corresponde a un 65% para NT y 71% para PT.

[iv] Este análisis no considera el efecto del transporte, evalúa lo que se genera de forma puntual en cada pixel, el cual se encuentra asociado a un tipo de cobertura particular. Los pixeles son de 30x30 m.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

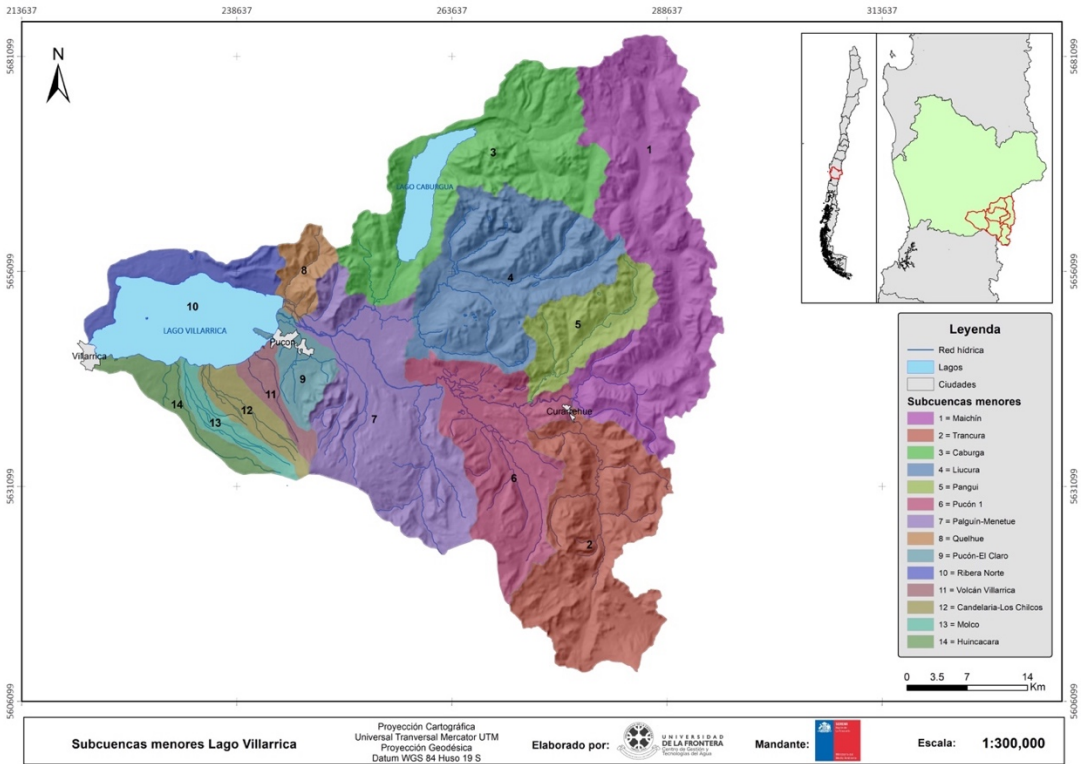


Figura 7. Cuenca del Lago Villarrica, subcuencas y red hídrica (Elaboración propia).

Tabla 10. Distribución de carga por sub-sub-cuenca al cierre de cada una de ellas.

ID	Subcuenca	Fósforo (ton/año)	% Fósforo	Nitrógeno (ton/año)	% Nitrógeno
Sub.C-1	Maichín	31.83	18.7%	115.49	18.6%
Sub.C-2	Trancura	22.39	13.1%	81.22	13.1%
Sub.C-3	Caburgua	25.15	14.7%	90.15	14.5%
Sub.C-4	Liucura	23.55	13.8%	90.88	14.7%
Sub.C-5	Pangui	7.72	4.5%	31.57	5.1%
Sub.C-6	Pucón1	20.43	12.0%	64.89	10.5%
Sub.C-7	Palguín - Menetúe	20.18	11.8%	68.37	11.0%
Sub.C-8	Quelhue	3.20	1.9%	8.69	1.4%
Sub.C-9	Pucón - El Claro	2.98	1.7%	12.03	1.9%
Sub.C-10	Ribera Norte	3.61	2.1%	13.37	2.2%
Sub.C-11	Volcán Villarrica	2.01	1.2%	8.77	1.4%
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	3.76	2.2%	14.79	2.4%
Sub.C-13	Molco	1.76	1.0%	7.17	1.2%
Sub.C-14	Huincacara	2.04	1.2%	12.78	2.1%
	Total	**170.62**	**100%**	**620.14**	**100%**

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

Tabla 11. Distribución de carga por sub-sub-cuenca según tipo de cobertura.

	Nombre	LAND COVER CHILE (2014)		Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno total	Fósforo total
		Superficie (ha)	Superficie (%)	ton/año	ton/año	ton/año/ha	ton/año/ha
Cob-1	Otros Cultivos	544.2	0.21%	4.95	0.38	0.00179	0.00041
Cob-2	Huertos	3.3	0.00%	0.03	0.00	0.00212	0.00048
Cob-3	Barbechos	49.3	0.02%	0.47	0.04	0.00211	0.00062
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	44851.9	17.06%	79.34	9.80	0.00482	0.00235
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	126918.8	48.29%	243.94	123.65	0.00403	0.00181
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables	4.3	0.00%	0.01	0.00	0.00140	0.00032
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	456.3	0.17%	1.37	0.37	0.00370	0.00158
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	4431.4	1.69%	13.21	3.54	0.00184	0.00055
Cob-9	Praderas Anuales	13105.3	4.99%	80.27	12.01	0.00252	0.00089
Cob-10	Praderas Perennes	1.4	0.00%	0.00296	0.00067	0.00219	0.00050
Cob-11	Otros Pastizales	23260.0	8.85%	146.09	21.86	0.00400	0.00179
Cob-12	Pastizales Áridos	17.5	0.01%	0.11	0.02	0.00362	0.00169
Cob-13	Matorrales	36732.7	13.98%	192.87	13.68	0.00490	0.00232
Cob-14	Matorrales Arborescentes	138.4	0.05%	0.72	0.05	0.00199	0.00055
Cob-15	Otros Matorrales Áridos	0.2	0.00%	0.00	0.00	0.01101	0.00571
Cob-16	Superficie Impermeables	345.0	0.13%	0.82	0.69	0.00187	0.00059
Cob-17	Suelos Arenoso	16.0	0.01%	0.02	0.02	0.00305	0.00121
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	2587.6	0.98%	6.47	5.46	0.00526	0.00263
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	9374.9	3.57%	22.53	19.02	0.00492	0.00225
	Total	**262838.3**	**100%**	**793.21**	**210.60**		

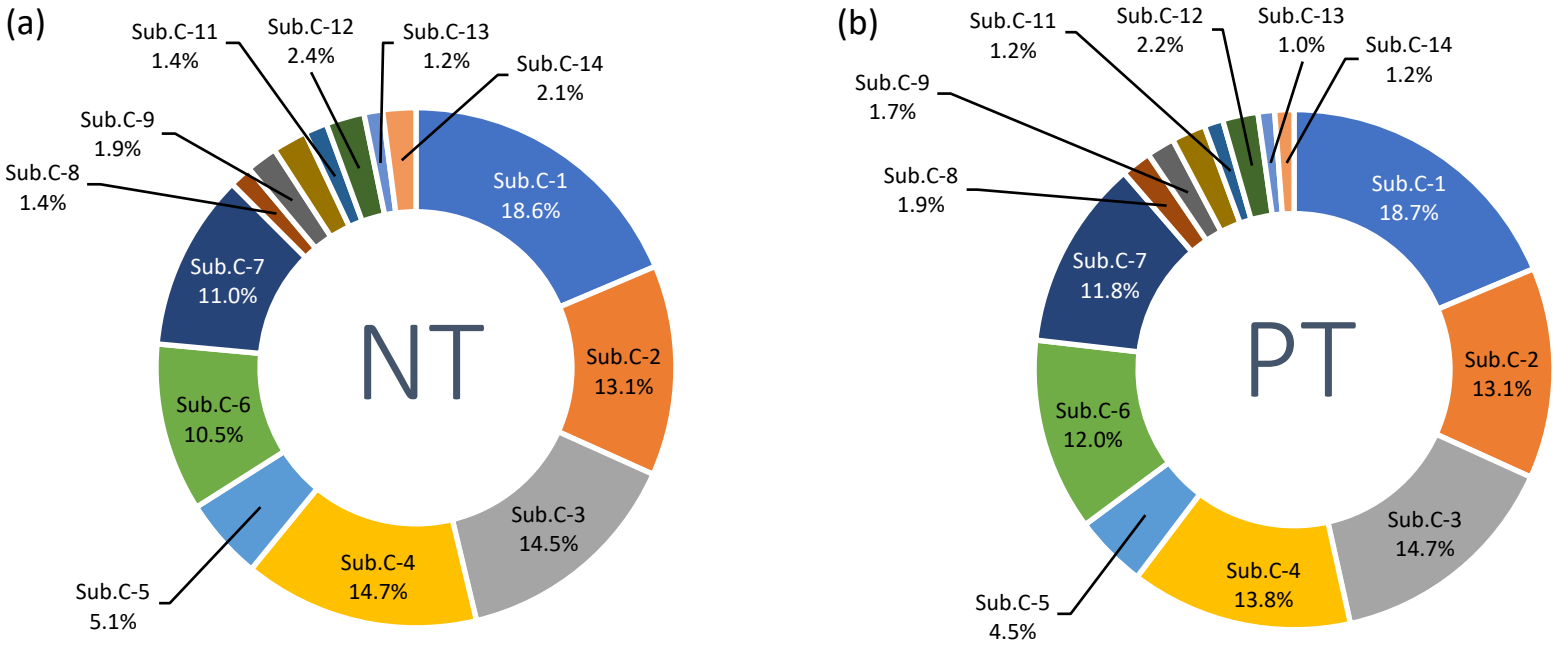


Figura 8. Distribución de carga por sub-sub-cuenca al cierre de cada una de ellas: (a) Nitrógeno Total y (b) Fósforo Total.

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

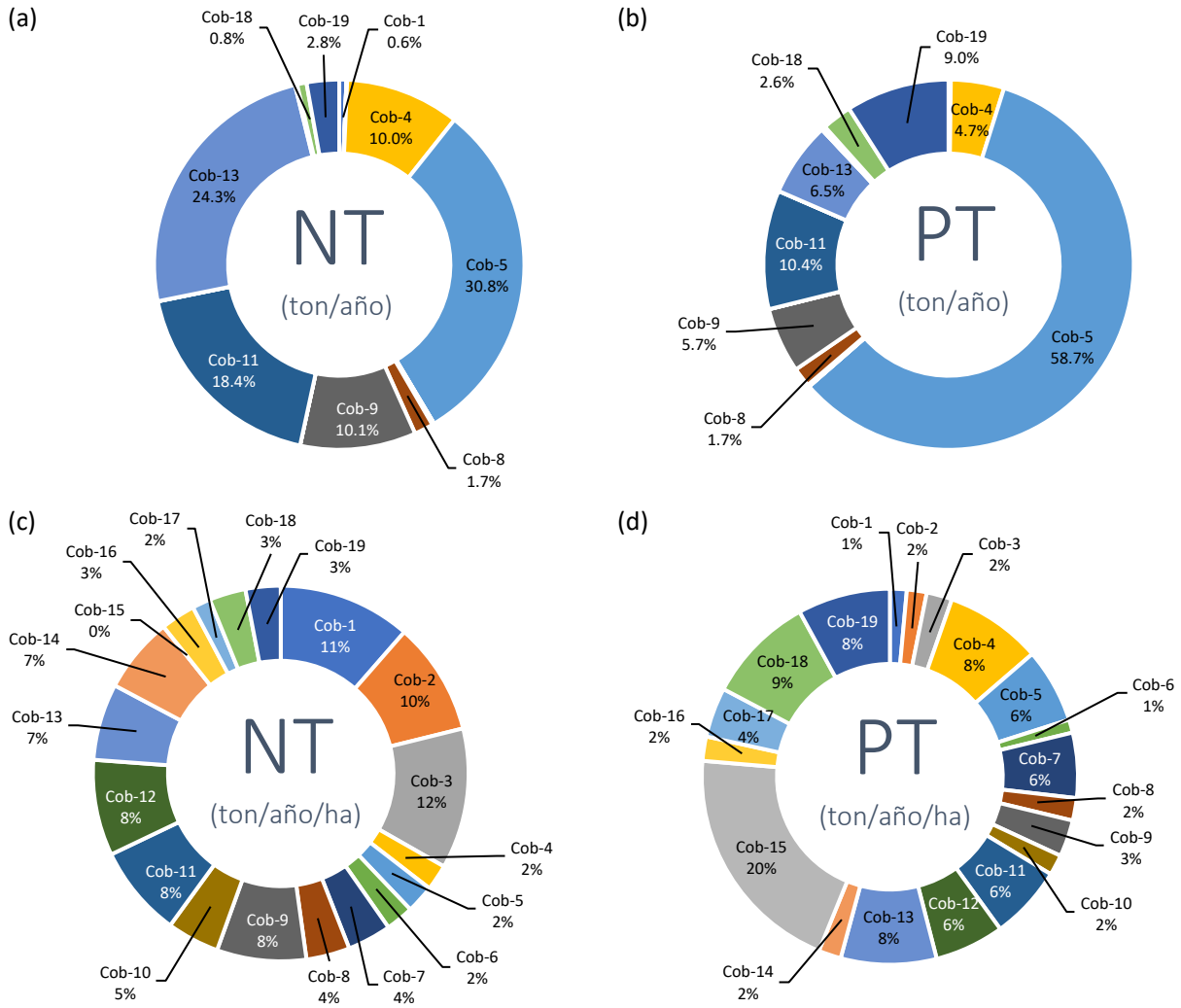


Figura 9. Distribución de carga por cobertura en la cuenca del Lago Villarrica: (a) Nitrógeno Total Anual, (b) Fósforo Total Anual, (c) Nitrógeno Total Anual por ha y (e) Fósforo Total Anual por ha.

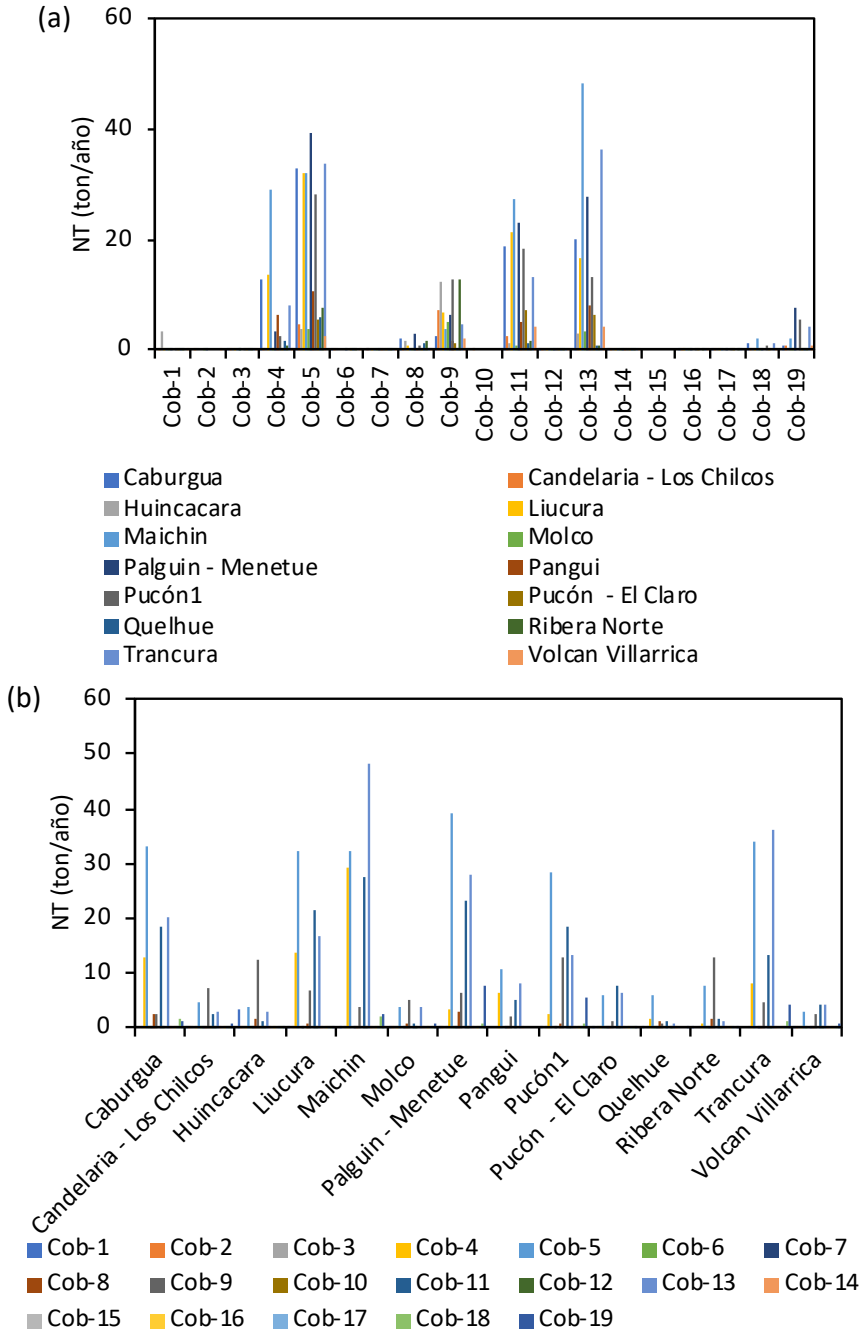
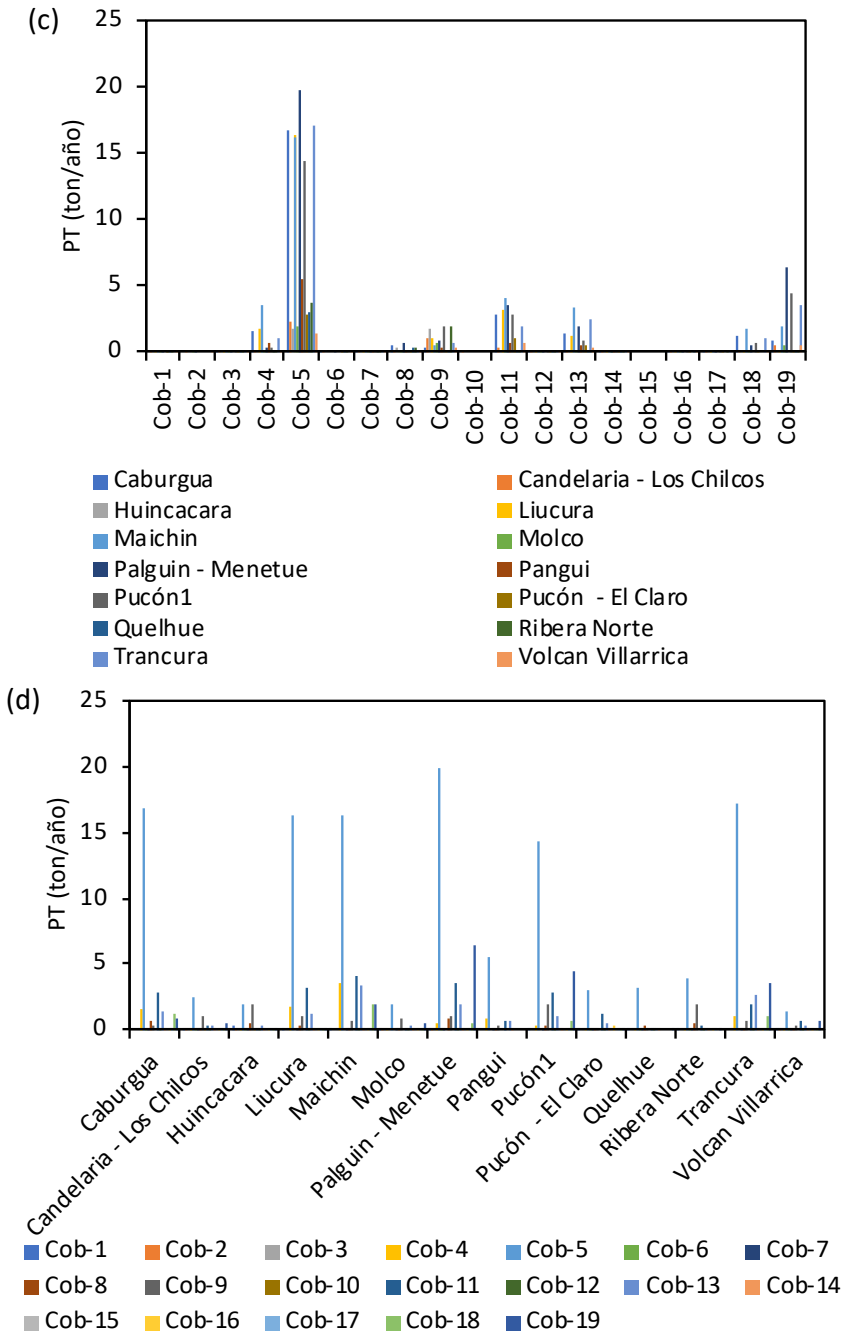


Figura 10. Distribución de cargas anuales por cobertura y sub-sub-cuencas. (a) por cobertura en la cuenca del Lago Villarrica: (a) Nitrógeno Total Anual, (b) Fósforo Total Anual, (c) Nitrógeno Total Anual por ha y (e) Fósforo Total Anual por ha.



Continuación de Figura 10. Distribución de cargas anuales por cobertura y sub-sub-cuencas. (a) por cobertura en la cuenca del Lago Villarrica: (a) Nitrógeno Total Anual, (b) Fósforo Total Anual, (c) Nitrógeno Total Anual por ha y (e) Fósforo Total Anual por ha.

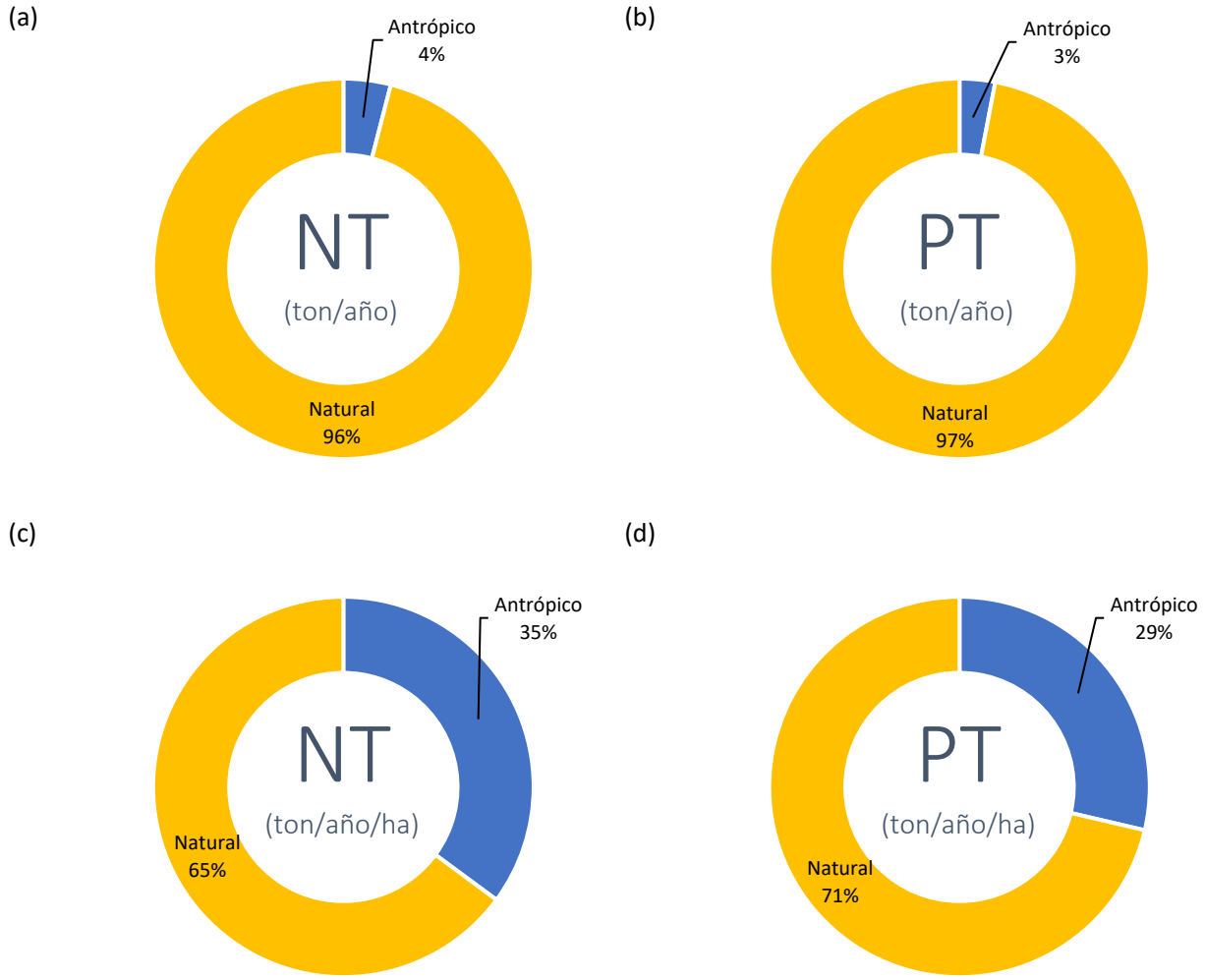


Figura 11. Diferenciación entre aporte antrópico y aporte natural. (a) Nitrógeno Total Anual, (b) Fósforo Total Anual, (c) Nitrógeno Total Anual por ha y (e) Fósforo Total Anual por ha. Se ha asumido como:
Coberturas Antrópicas: 1, 2, 7, 8, 9, 10, 16
Coberturas Naturales: 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19
Para conocer clasificación de coberturas, ver Tabla 11

5.1.1.4 Cálculo de transporte de nutrientes (WASP).

La Tabla 12 presenta el resumen actualizado de la estimación de emisiones según el modelo de transporte desarrollado en MMA-UFRO (2019), donde se observa que la cuenca del Río Trancura (M5) es la que concentra la mayor carga de emisiones. Respecto a la responsabilidad de fuentes puntuales y difusas, la Figura 12 presenta las diferencias de aporte por cada río y estero considerado en este estudio y que descarga de forma directa al Lago Villarrica. Respecto del Fósforo Total (Figura 12a), en los esteros Molco (M1), Loncotraro (M2) y Los Chilcos (M4) predominan las cargas provenientes de fuentes puntuales; en Correntoso (M3) y Trancura (M5) predominan las cargas provenientes desde fuentes difusas. Respecto de la carga de Nitrógeno (Figura 12b), en el Estero Loncotraro (M2) y Río Trancura (M5) se observa una predominancia de las fuentes puntuales, al contrario, en los esteros Correntoso (M3) y Los Chilcos (M4) una predominancia de las fuentes difusas, y para el caso del estero Molco (M1) las emisiones estarían compartidas entre puntuales y difusas. La Tabla 13 presenta un desglose de las cargas por fuente puntual.

El Anexo 3 presenta un resumen gráfico de los ajustes de los modelos antes mencionados.

Finalmente, para establecer una relación entre los valores de Nitrógeno y Fósforo total observados en el muestreo versus los valores modelados con WASP se procedió a un análisis de residuos a través del cálculo de errores a través de la función Raíz del Error Cuadrático Medio (U), donde, para U, el valor cero (0) es el valor de máxima igualdad y uno (1) es el valor de máxima desigualdad, esto de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\mathrm{U} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum(\hat{y} - y)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum \hat{y}^2} + \sqrt{\frac{1}{n}\sum y^2}} \qquad \text{ec. 1}$$

Donde *U* corresponde a la función Raíz del Error Cuadrático Medio, *n* corresponde al número de observaciones, $\hat{y}$ es el valor modelado e *y* el valor observado.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 12. Estimación de la carga de Fósforo y Nitrógeno Total anual desde principales esteros y ríos aportantes al Lago Villarrica.

Modelo	Nombre del estero	TOTAL, río/estero				Pisciculturas/AS/ PTAS [a]		Fuentes Difusas	
		PT		NT		PT	NT	PT	NT
		ton/año	U_P [b]	ton/año	U_N [b]	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
M1	Estero Molco	10.52	0.197	90.49	0.213	9.29	45.36	1.23	45.13
M2	Estero Loncotraro	10.31	0.411	37.29	0.364	8.52	31.22	1.79	6.07
M3	Estero Correntoso	2.12	0.159	11.06	0.278	0.39	2.64	1.73	8.42
M4	Estero Los Chilcos	4.50	0.091	44.67	0.273	2.91	17.49	1.59	27.18
M5	Río Trancura (T.118+T.112)	260.61	0.285	1185.92	0.342	102.92	668.95	157.69	516.97
TOTAL (ton/año)		**288.06**		**1369.43**		**124.04**	**765.66**	**164.02**	**603.77**
Relación respecto del total (%)		100%		100%		43.1%	55.9%	56.9%	44.1%

[a] El valor reportado en esta sección respecto a PT y NT, corresponden a la suma de las emisiones puntuales en el origen, lo cual no refleja la cantidad real que pudiese llegar al Lago, esto producto de las reacciones químicas y biológicas que naturalmente se producen en el trayecto. [b] Corresponde a la función Raíz del Error Cuadrático Medio, ver Ecuación 1.

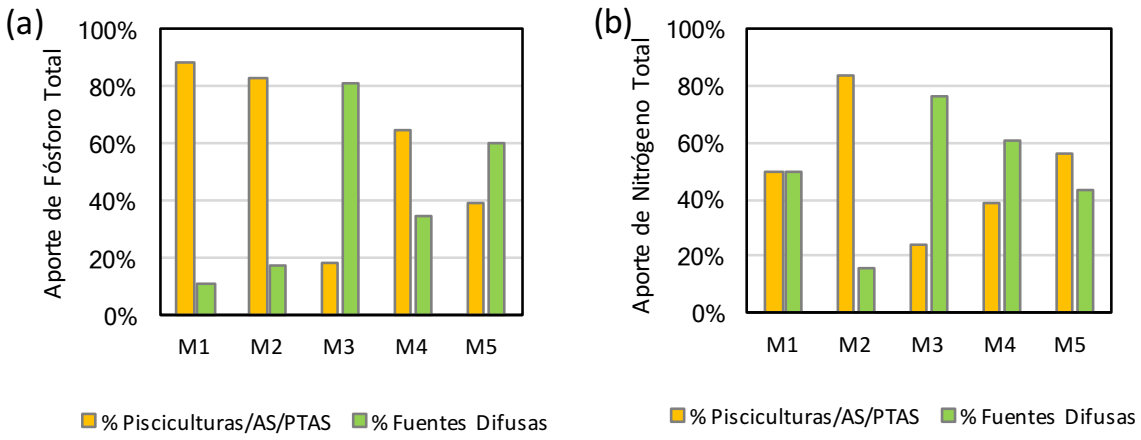


Figura 12. Responsabilidad en el aporte de (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total desde Fuentes Puntuales y Fuentes Difusas por cada uno de los ríos y esteros estudiados.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 13. Distribución de la participación en la carga de Nitrógeno y fósforo total.

Clasificación	Nombre del estero	ID	Nombre	Pisciculturas/AS/PTAS				Fuentes Difusas		TOTAL río/estero	
				Fósforo total		Nitrógeno total		Fósforo total	Nitrógeno total	Fósforo total	Nitrógeno total
				ton/año	%	ton/año	%	ton/año	ton/año	ton/año	ton/año
M1	Estero Molco	P4	Chehuilco	**1.21**	**11.50**	**6.41**	**7.08**	1.23	45.13	10.52	90.49
		P2	Molco	**8.08**	**76.80**	**38.95**	**43.04**				
M2	Estero Loncotraro	P3	Loncotraro	8.52	82.68	31.22	83.72	1.79	6.07	10.31	37.29
M3	Estero Correntoso	P5	La Cascada	0.39	18.54	2.64	23.87	1.73	8.42	2.12	11.06
M4	Estero Los Chilcos	P1	Los Chilcos	1.65	36.60	9.29	20.80	1.59	27.18	4.50	44.67
		P3	Loncotraro	1.26	28.09	8.20	18.36				
M5	Río Trancura	P10	Quimeyco	10.20	3.45	42.45	**3.55**	157.69	516.97	260.61	1185.92
		P7	Caburgua I	0.87	0.29	5.44	**0.46**				
		P8	Ojos del Caburgua	3.73	1.26	14.01	**1.17**				
		P9	Carileufu	-	-	-	**0.00**				
		P6	Quetroleufu	1.70	0.57	28.47	**2.38**				
		P14	Caburgua II	10.02	3.39	93.28	**7.80**				
		P13	Rinconada	-	-	-	**0.00**				
		P11	Curarrehue (T.36)	22.68	7.67	164.03	**13.72**				
		P11	Catripulli (T.43)	18.18	6.15	87.46	**7.32**				
		P12	Hendrix (T.32)	27.07	9.15	188.66	**15.78**				
		AS	AS Curarrehue	4.880	1.65	23.10	**1.93**				
		PTA	PTAS Pucón	3.59	1.21	22.1	**1.84**				

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

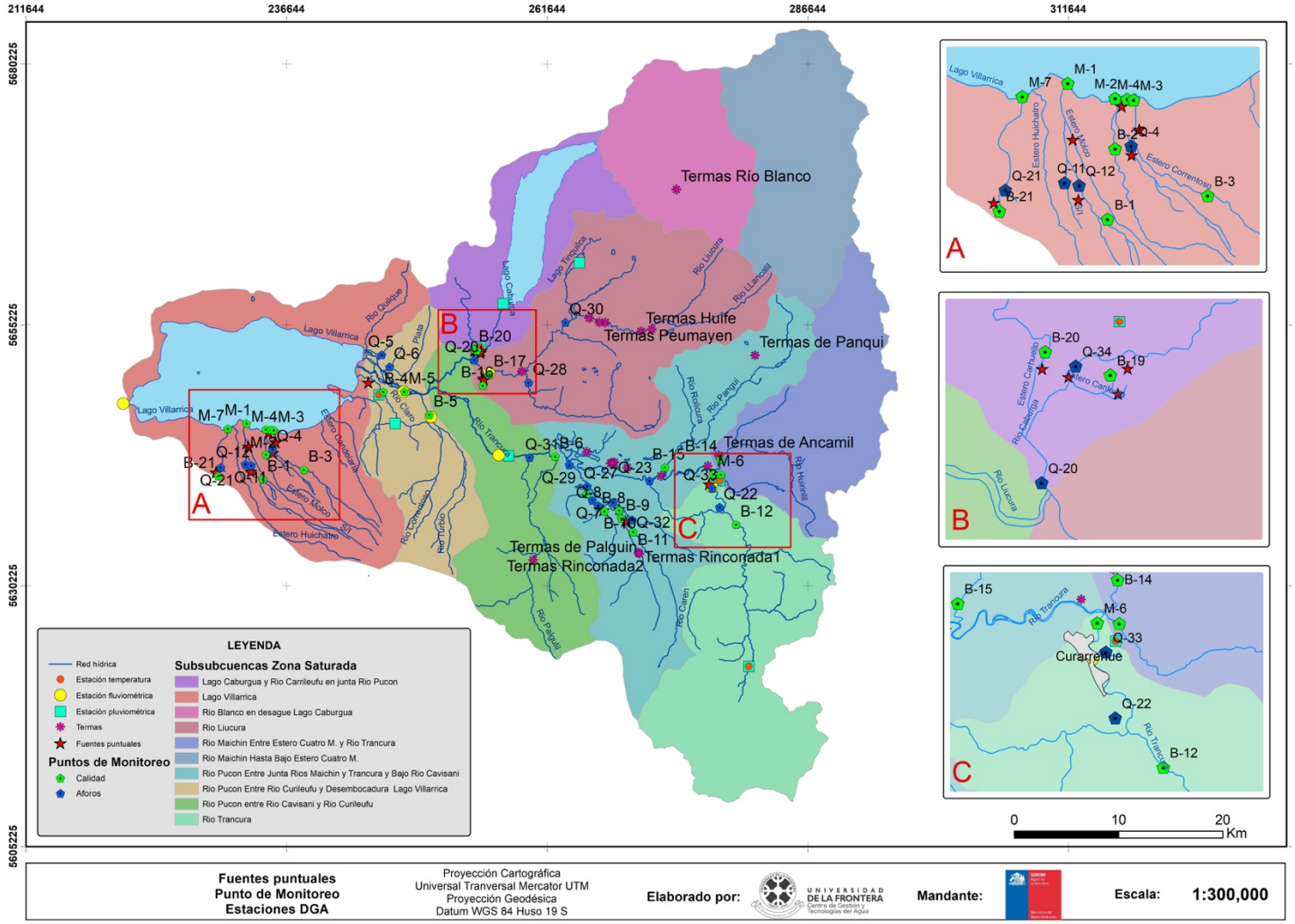


Figura 13. Identificación de fuentes puntuales, puntos de monitoreo, centros termales y estaciones DGA. (Fuente: MMA-UFRO (2018)).

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

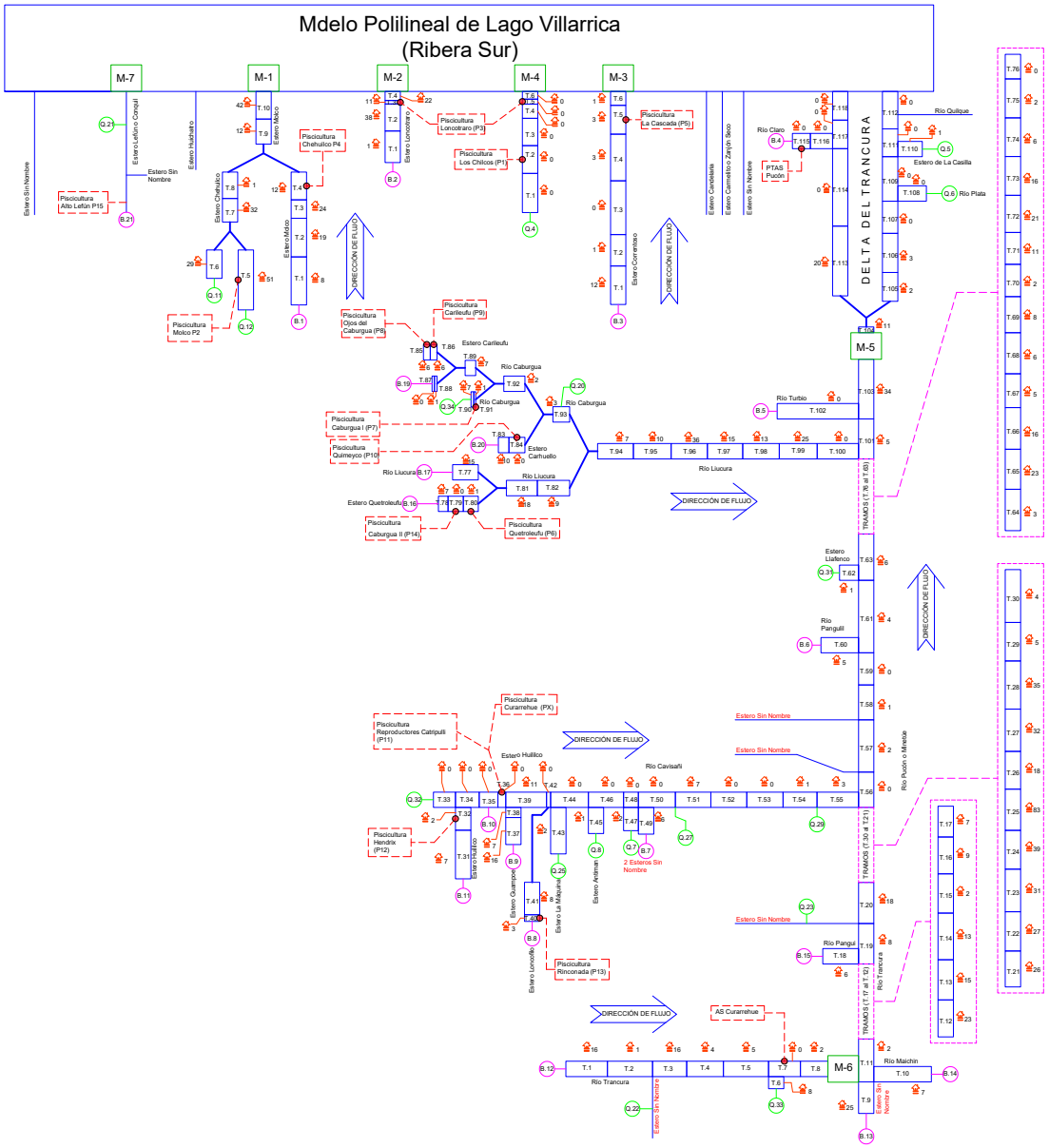


Figura 14. Estructura general de modelo WASP por tramo de modelación, incorporando todas las fuentes puntuales, fuentes difusas relacionadas a viviendas y condiciones de borde asociadas.

5.1.2. Resumen inventario de emisiones

Las Tabla 14 y Tabla 15 presentan un resumen de todas las emisiones consideradas en el presente estudio, siendo las emisiones de la Tabla 14 el total, y la Tabla 15 sólo las emisiones con impacto directo o indirecto en el Lago Villarrica. Respecto del total de emisiones con impacto directo e indirecto al Lago Villarrica (Tabla 15), el Nitrógeno Total provendría principalmente de Pisciculturas (48.8%) y de las coberturas de suelo presentes en la cuenca (42.0%). Respecto del Fósforo Total, las fuentes se repiten, siendo Pisciculturas (37.8%) y las coberturas de la cuenca (55.8%).

Tabla 14. Resumen de emisiones totales desde fuentes puntuales y difusas

Tipo de Fuente	Fuentes	PT (ton/año)	% PT	NT (ton/año)	% NT
Difusa	Viviendas urbanas sin alcantarillado (Villarrica y Pucón)	2.50	0.8%	16.2	1.0%
Difusa	Viviendas de Borde Lago	1.23	0.4%	7.99	0.5%
Difusa	Viviendas de Borde Río	4.10	1.3%	26.6	1.7%
Difusa	Viviendas de Contorno	8.72	2.7%	56.7	3.7%
Difusa	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	170.62	53.8%	620.1	40.0%
Difusa	Colector O'Higgins *	2.48	0.8%	5.7	0.4%
Difusa	Puente Carmelito *	0.05	0.0%	0.0	0.0%
Difusa	Puente Candelaria *	1.58	0.5%	1.9	0.1%
Difusa	Frente PUCV *	0.03	0.0%	1.8	0.1%
Difusa	Castillo, Zona norte *	0.31	0.1%	8.7	0.6%
Difusa	Sector Carmelito *	1.05	0.3%	16.5	1.1%
Difusa	Estero Carmelito *	0.29	0.1%	5.4	0.3%
Difusa	Costanera Villarrica *	0.16	0.1%	16.2	1.0%
Puntual	AS Curarrehue	4.88	1.5%	23.10	1.5%
Puntual	PTAS Pucón	3.59	1.1%	22.10	1.4%
Puntual	Pisciculturas	115.56	36.4%	720.51	46.5%
	TOTAL	**317.15**	**100.0%**	**1549.5**	**100.0%**

(*)Información tomada de MMA-UFRO (2019).

Tabla 15. Resumen de emisiones con impacto directo e indirecto al Lago Villarrica.

Tipo de Fuente	Clave	Fuentes	PT (ton/año)	% PT	NT (ton/año)	% NT
Difusa	A	Viviendas de Borde Lago	1.23	0.4%	8.0	0.5%
Difusa	B	Viviendas de Borde Río	4.10	1.3%	26.6	1.8%
Difusa	C	Difuso Coberturas Cuenca (N-SPECT)	170.62	55.8%	620.1	42.0%
Difusa	D	Colector O'Higgins *	2.48	0.8%	5.7	0.4%
Difusa	E	Puente Carmelito *	0.05	0.0%	0.0	0.0%
Difusa	F	Puente Candelaria *	1.58	0.5%	1.9	0.1%
Difusa	G	Frente PUCV *	0.03	0.0%	1.8	0.1%
Difusa	H	Castillo, Zona norte *	0.31	0.1%	8.7	0.6%
Difusa	I	Sector Carmelito *	1.05	0.3%	16.5	1.1%
Difusa	J	Estero Carmelito *	0.29	0.1%	5.4	0.4%
Difusa	K	Costanera Villarrica *	0.16	0.1%	16.2	1.1%
Puntual	L	AS Curarrehue	4.88	1.6%	23.1	1.6%
Puntual	M	PTAS Pucón	3.59	1.2%	22.1	1.5%
Puntual	N	Pisciculturas	115.56	37.8%	720.5	48.8%
		TOTAL	**305.93**	**100.0%**	**1476.7**	**100.0%**

(*)Información tomada de MMA-UFRO (2019).

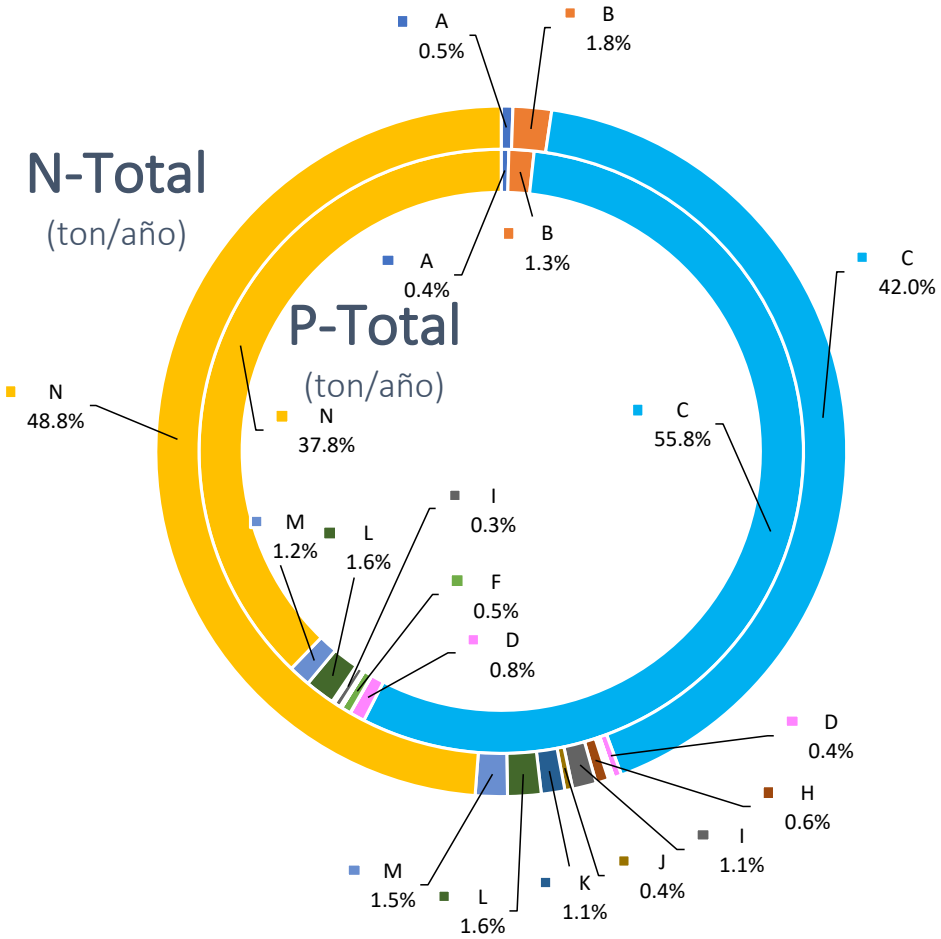


Figura 15. Resumen de emisiones por fuente de emisión con impacto directo e indirecto en el Lago Villarrica.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

5.2. (OE2) Medición de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo).

En la presente etapa de estudio solo fue posible realizar un muestreo de calidad de aguas, la Figura 16 presenta un resumen gráfico de la evolución de los datos de concentración y carga para Fósforo Total y Nitrógeno Total. Estas mediciones fueron realizadas solo en los puntos de control M1, M2, M3, M4, M5, M6 y B12 como situación de borde para obtener por diferencia el aporte de AS Curarrehue, que corresponden a:

M1: Desembocadura a Lago Villarrica Estero Molco
M2: Desembocadura a Lago Villarrica Estero Loncotraro
M3: Desembocadura a Lago Villarrica Estero Correntoso
M4: Desembocadura a Lago Villarrica Estero Los Chilcos
M5: Puente Quelhue antes del delta del Río Trancura
M6: 1Km aprox. aguas debajo de los 7 emisarios de Curarrehue en Río Trancura
B12 1Km aprox. aguas arriba de Curarrehue

De la Figura 16 se observa que los valores de concentración y carga no obedecen a una tendencia estacional, esto puede deberse a la poca cantidad y periodicidad de los muestreos disponibles de los cauces considerados.

Respecto de los valores de concentración (mg/L) de Fósforo Total y Nitrógeno Total, los esteros Molco y Loncotraro (M1 y M2 respectivamente) son los que presentan mayores concentraciones para esos dos nutrientes. Sin embargo, es el Río Trancura el que mayor aporte en masa por tiempo (ton/día) aportaría al Lago Villarrica, esto se debe a su mayor caudal (ver Figura 17). En el Anexo 4 es posible encontrar todas las gráficas asociadas a las campañas de monitoreo desde el año 2017, y en el Anexo 5 se encuentran las tablas actualizadas para los puntos de control antes mencionados y los puntos de monitoreo en condiciones de borde realizado en los estudios anteriores.

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

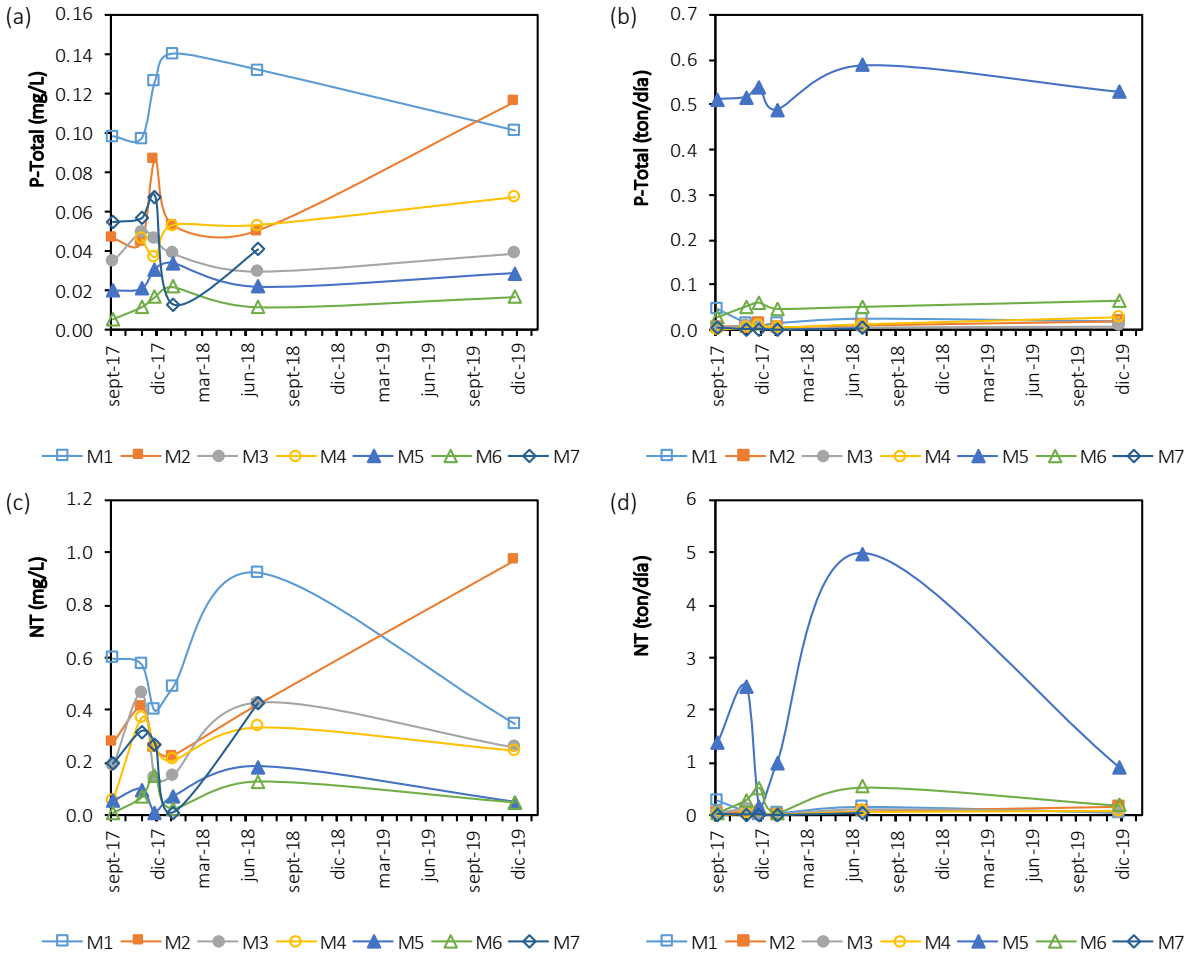


Figura 16. Resumen de valores de concentración (a) y (c), y valores de carga (b) y (d) para Fósforo y Nitrógeno Total, respectivamente. En los puntos de muestro y control M1, M2, M3, M4, M5, M6 y M7.

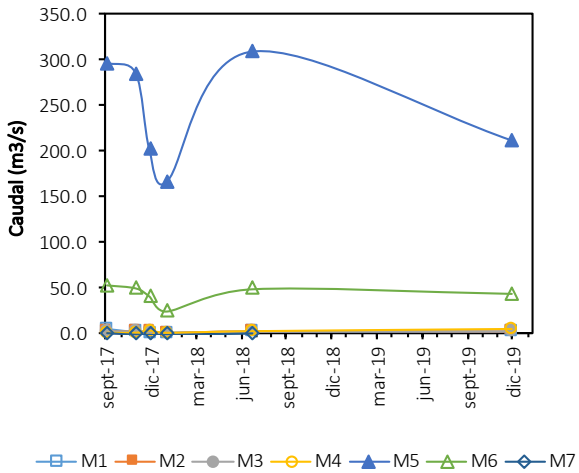


Figura 17. Caudales medidos en cada campaña de monitoreo.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

5.3. (OE3) Diseño y evaluación de escenarios de reducción de emisiones.

(Revisión bibliográfica de estudios con experiencias a nivel internacional en medidas para reducir las cargas de Nitrógeno y Fósforo de fuentes puntuales y difusas para la recuperación de ecosistemas lacustre similares al Lago Villarrica).

Para el desarrollo de esta sección se han considerado algunos estudios que tienen relación con planes de descontaminación y otros relacionados a medidas de reducción de las emisiones de Nitrógeno y Fósforo Total desde fuentes difusas, la Tabla 16 presenta un resumen de cada uno d ellos.

5.3.1. Planes de gestión de fuentes de contaminación

Un estudio realizado en el Mar Báltico, respecto del efecto del enriquecimiento de nutrientes de las aguas y la subsecuente eutrofización del cuerpo de agua presenta una rutina de evaluación, control y seguimiento de las estrategias de gestión y monitoreo de las cargas de nutrientes (Janet F. Pawlak, 2009), la cual se presenta en la Figura 18. Por otro lado, recientemente en Rhode Island (Rhode Island. Department of Environmental & Resources, 2019) el Departamento de Gestión Ambiental a través de su Oficina de Recursos Hídricos, se encuentra elaborando un plan de gestión de fuentes difusas sobre una serie de cuerpos de agua presentes en su distrito. El Plan de Gestión de Rhode Island presenta una rutina de control y seguimiento en menos pasos, esto se presenta en la Figura 19.

Por otro lado, se encuentra el ejemplo de control y manejo de la contaminación del Lago Tahoe (con estudios desde el año 1960), los estudios realizados en este, se centran en la identificación de los factores que han contribuido al aparente deterioro del entorno cercano a la costa. Esto se debe a factores del uso de suelo, desarrollo urbano, fuentes de contaminación difusa, movimiento del agua, profundidad del lago, tipos de sustratos y otras características del fondo del lago. El equipo de Ciencia Costera (NeST) y el Grupo de Trabajo de la Agencia Costera (NAWG), han trabajado en conjunto en un levantamiento de información y síntesis de esta, con el objetivo de contribuir con un plan de desarrollo de monitoreo y evaluación que harán un seguimiento a los cambios de las condiciones cercanas a la costa del Lago Tahoe.

En este contexto, para el Lago Tahoe, se ha desarrollo un esquema para ilustrar las interacciones relevantes entre los factores naturales y antropogénicos que afectan la costa del lago, la Figura 20 presenta dicho esquema. Los estudios sobre el Lago Tahoe, indican que la escorrentía de aguas pluviales, entradas de corrientes que pasan a través de cuencas hidrográficas perturbadas, eventos de afluencia que llevan aguas profundas

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

del lago a la costa cercana, aportes de las aguas subterráneas, exceso en la aplicación de fertilizantes, establecimiento de macrófitas acuáticas invasivas; son factores que inciden en el aumento de sedimento, enriquecimiento de nutrientes en el agua, aumento de biomasa de fitoplancton y algas bentónicas, aumento de algas, todo lo cual influye en la disminución de la transparecia del agua cercana a la costa.

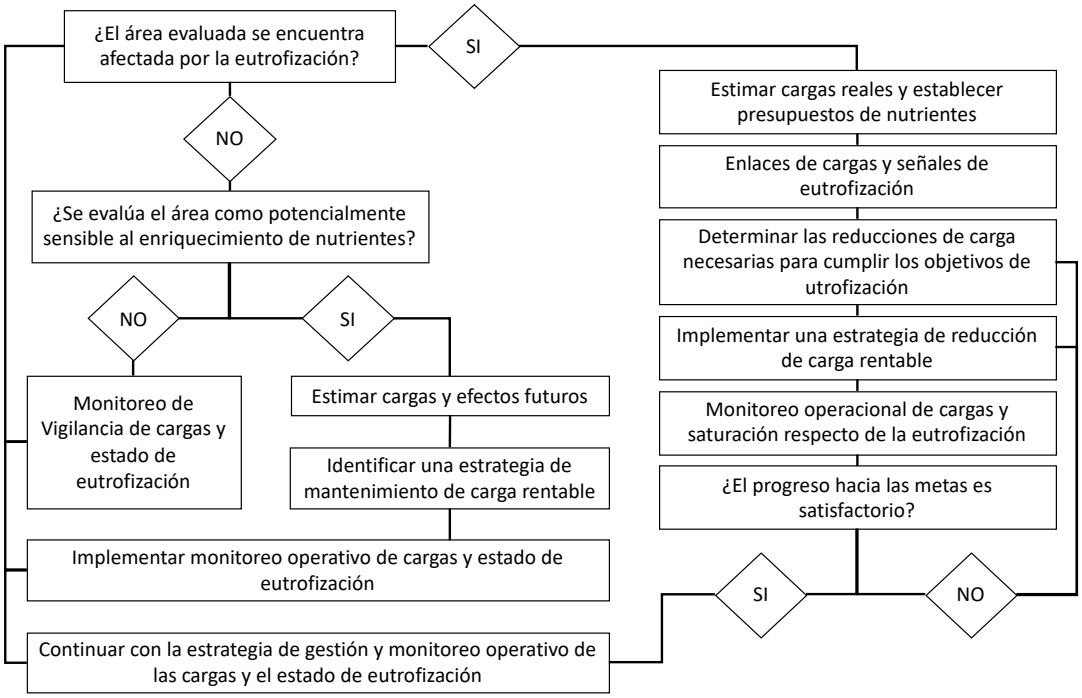


Figura 18. Esquema de gestión de la eutrofización de cuerpos de agua propuesto por Janet F. Pawlak, (2009)

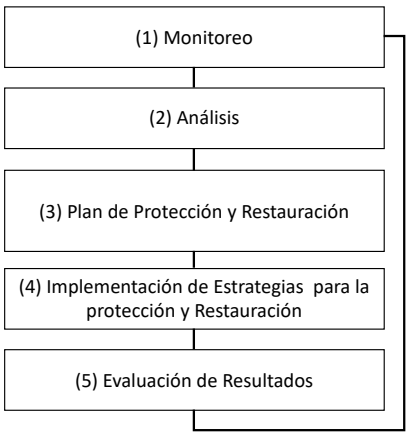


Figura 19. Esquema de gestión de la eutrofización de cuerpos de agua propuesto por (Rhode Island. Department of Environmental & Resources, 2019)

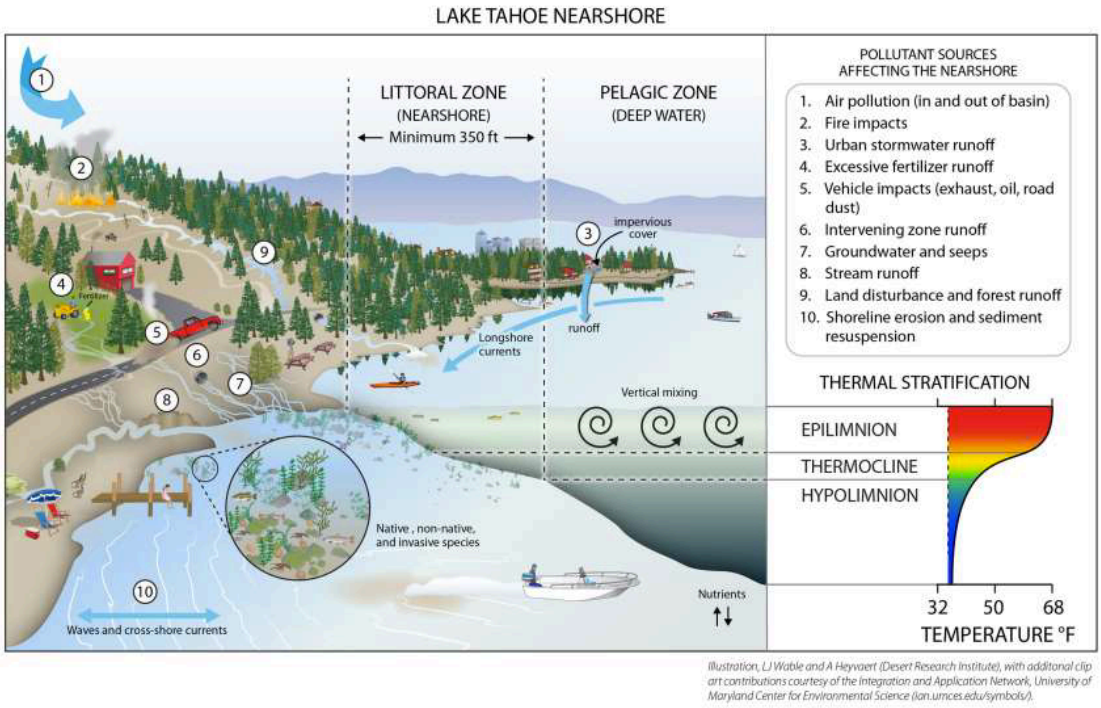


Figura 20. Esquema que ilustra las principales actividades y eventos que afectan la calidad del agua en la cosa del lago Tahoe. Tomado de (Heyvaert, A.C., Reuter, J.E., Chandra, S., Susfalk, R.B., Schaldow & Hackley, 2013).

Las principales fuentes de contaminación detectadas son:

1. Contaminación atmosférica (desde dentro y fuera de la cuenca).
2. Impacto de Incendios forestales.
3. Escorrentía de aguas lluvia urbanas.
4. Perdidas por excesiva fertilización.
5. Impacto vehicular (gases del escape, aceite, polvo de carrtera).
6. Escorrentías de zonas intermedias.
7. Aguas subterráneas e infiltraciones.
8. Escorrentías asociadas a cauces de agua.
9. Alteraciones del terreno y escorrentía forestal.
10. Erosión de la costa y resuspensión de sedimentos.

Respecto a estos puntos, las Influencias en las condiciones ambientales cercanas a la costa del Lago Tahoe puden resumirse de la siguiente manera:

- La escorrentía de las aguas pluviales urbanas generalmente contiene altas concentraciones de nutrientes y partículas de sedimento fino. Estos nutrientes causan mayores concentraciones localizadas de fitoplancton que disminuyen la

transparencia del agua asimismo estas concentraciones altas en partículas de sedimentos contribuyen a disminuir la transparencia de la costa.

- Las corrientes de aguas que pasan a través de las cuencas hidrográficas perturbadas contribuyen a concentraciones altas de nutriente y partículas finas que disminuyen la transparencia cerca de la costa.
- Los eventos de afluencia en el lago llevan aguas profundas del lago a la costa, estas aguas aportan nutrientes en relación con las concentraciones locales cercanas a la costa.
- Los aportes de nutrientes por escorrentía de aguas pluviales, aportes de ríos y agua subterránea pueden generar un aumento de la biomasa de fitoplancton y algas bentónicas (perifiton y metaphyton).
- La aplicación excesiva de fertilizantes puede contribuir a la carga de aguas subterráneas y escorrentía superficial de nutrientes, aumenta la concentración de nutrientes disueltos cerca de la costa lo cual mejora las condiciones para un aumento de la concentración de algas, disminuyendo así la transparencia.
- Los nutrientes también afectan las tasas de crecimientos de algas y la distribución de especies vegetacionales acuaticas, lo que puede afectar a la estructura comunitaria.
- El establecimiento de macrófitas acuáticas invasivas puede aumentar la concentración de nutrientes en el agua cercana a la costa, mediante el transporte de nutrientes desde la superficie del sedimento.
- Las especies invasoras pueden cambiar el ciclo de nutrientes y aumenta la cantidad de algas bentónicas, el crecimiento de macrófitas y las distribuciones espaciales de estas. Por ejemplo, se ha demostrado que las almejas asiáticas liberan nitrógeno amoniacal y fósforo reactivo soluble en sus excretas, lo que estimula el crecimiento de algas filamentosas bentónicas que crecen en la superficie del fondo del lago cerca de la costa. Como no están unidos, estos son fácilmente transportados por las corrientes y la acción de las olas.
- La presencia de especies invasoras puede causar un impacto estético directo cerca de la costa.
- Los cangrejos de rio excretan nutrientes, posiblemente generando un aumento del perifiton.
- Las filtración y fugas de alcantarillado pueden causar concentraciones elevadas de agentes patógenos y microorganismos en aguas cercanas a la costas.
- El desperdicio de mascotas en playas y zonas cercanas a la costa pueden contribuir directamente a un aumento en el conteo de coliformes fecales y E. coli, además de aportar nutrientes al lago.
- Los nadadores y otros visitantes recreativos cerca de la costa que no usan baños establecidos pueden aportar nutrientes y microorganismo nocivos a las aguas cercanas a la costa.

- La escorrentía de aguas pluviales puede transportar desechos de mascotas y componentes químicos tóxicos cerca de la costa.

El mismo informe resume algunas posibles medidas de control:

Heyvaert, A.C., Reuter, J.E., Chandra, S., Susfalk, R.B., Schaldow & Hackley (2013) plantean que las siguientes acciones han sido efectivas para mitigar la influencia de contaminantes y de otros factores que afecta las condiciones cercanas a la costa del Lago Tahoe, mejorando la transparencia del lago y las condiciones cercanas a la costa.

- Se realizaron acciones para restaurar la vegetación y los suelos nativos, una mayor infiltración de la escorrentía, límites en las aplicaciones de fertilizantes, restauración de humedales, implementación de buenas prácticas de gestión estructural (BMP), opciones de bombeo y tratamiento para el manejo de aguas pluviales, barrido de calles.

- Acciones para reducir o evitar que nutrientes ingresen a aguas subterráneas, realizando mantenciones a la infraestructura de aguas residuales, disminuir la infiltración y desbordamientos, reducir el uso de fertilizantes a través de la educación y restricciones a su uso, con esto se espera reducir la disponibilidad de nutrientes que estimulan el crecimiento de algas cercanas a la costa.

- La reducción de las emisiones de los vehículos, con esto se espera disminuir la contaminación del aire hacia el lago, especialmente por los compuestos nitrogenados, del mismo modo, el uso reducido de vehículo disminuirá el desgaste de la superficie y las carrteras. Reducir la aplicación de material de tracción en invierno e implementar un barrido efectivo de la carretera para recoger el material de tracción residual después de los eventos de tormenta. Aplicar uso de fuentes nativas como material de tracción en las carreteras y evitar el uso de cenizas volcánicas.

- Mejorar la gestión difusa de los desechos sanitarios en las áreas de playa mediante la instalación de baños públicos, respetar las normas de gestión de desechos de mascotas e implementar controles de vida silvestre para reducir los aportes de nutrientes y posibles efectos nocivos de microrganismos nocivos.

- Legalmente eliminar los rompeolas y otras estructuras que interfieran con los patrones normales de circulación de agua cerca a la costa.

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

- Incorporar inspecciones a las embarcaciones importantes, para evitar la introducción de nuevas especies acuáticas invasoras para evitar los posteriores efectos perjudiciales en las condiciones cercanas a la costa.

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

Tabla 16. Resumen de estudios consultados.

Nº	Tipo de Medidas	Nombre del Estudio	Referencia	Enfoque
1	Plan de Gestión de fuentes de Contamnación	Eutrophication in the Baltic Sea	(Janet F. Pawlak, 2009)	Presentar herramientas de evaluación de eutrofización en el mar Báltico.
2	Plan de Gestión de fuentes de Contamnación	Rhode Island Nonpoint Source Management Plan	(Rhode Island. Department of Environmental & Resources, 2019)	Este plan corresponde a una actualización del Programa de Administración de Fuente No Puntuales de Rhode Island 2014, e incorpora elementos clave de un Plan de Gestión de Fuente No Puntual efectivo como se especifica en la guía de la EPA de 2013. (USEPA 2013. EPA Nonpoint Source Program and Grants Guidelines for States and Territories; issued April 12, 2013.)
3	Plan de Gestión de fuentes de Contaminación	Lake Tahoe Nearshore Evaluation and Monitororing Framework	(Heyvaert, A.C., Reuter, J.E., Chandra, S., Susfalk, R.B., Schaldow & Hackley, 2013)	Presentar herramientas de evaluación de eutrofización del Lago Tahoe.
4	Silvoagropecuario	Agricultura limpia y la necesidad del Uso racional de los fertilizantes	(Silva Jaque, 2010)	Evaluación del uso adecuado de fertilizantes en Chile.
5	Guía de tratamiento de aguas residuales domiciliarias sin conexión a alcantarillado	Small Community Wastewater Solutions: A Guide to Making Treatment, Management and Financing Decisions	(Olson, Chard, Malchow, & Hickman, 2001)	Esta guia presenta estrategias de tratamiento y reutilización de aguas residuales de viviendas que no tienen conexión a alcantarillado.
6	Humedal Artificial para zonas urbanas	Efficiency of a constructed wetland in removing contaminants From stormwater	(Birch, Matthai, Fazeli, & Suh, 2004)	Aplicación de un humedal artifical para el tratamiento de guas generadas en zonas urbanas producto de aguas lluvia y que desacrguen en cuerpos de agua superficial.
7	Restauración de Vegetación Ripariana	Diagnóstico del estado de la vegetación ripariana de la cuenca del lago villarrica	EcoHyd (2016)	Corresponde a una caracterización de la vegetación ripariana de los principales cauces de la cuenca del Lago Villarrica. Esto tiene por objeto servir de insumo para el diseño de medidas que permitan minimizar el aporte de nutrientes provenientes de fuentes difusas que actualmente inciden en la calidad de las aguas del lago Villarrica

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

Continuación de Tabla 16. Resumen de estudios consultados.

Nº	Tipo de Medidas	Nombre del Estudio	Referencia	Enfoque
8	Restauración de Vegetación Ripariana	Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia	Ríos, Triana, Bejarano, & Ruiz (2012)	Esta guía técnica es una síntesis conceptual y metodológica basada en experiencias desarrolladas en diferentes ecosistemas del mundo, con énfasis en los ecosistemas tropicales terrestres y acuáticos.
9	Plan de Gestión de fuentes de Contamnación	Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural	(Auchen & Martínez, 2018)	Presentar tecnologías en el ámbito de tratamientos de aguas servidas y soluciones particulares de alcantarillado sanitario rural en chile.
10	Humedales Arificiales para Pisciculturas	Manual de Acuicultura sostenible	(SustainAqua, 2009)	Aplicación de humedales artificiales para la retención de Nitrógeno, Fósforo y Carbono proveniente de efluentes de pisciculturas.

Lo que Rhode Island, Management, & Resources (2019) plantea es básicamente supervisar, analizar, planificar, proteger/restaurar y evaluar:

1) Monitorear la calidad y condición de los recursos hídricos;
   Se requiere monitoreo de la calidad del agua para generar información sobre la naturaleza y el alcance de la contaminación desde fuentes puntuales y difusas. Los datos generados se utilizan en el establecimiento y revisión de las normas de calidad del agua del estado, se mide el progreso hacia el logro de los objetivos de calidad de agua estatales y federales, y el suministro de información para su uso en el desarrollo de los planes de cuenca, carga total máximas diarias (TMDLs) y límites de permiso para la evacuación de aguas residuales tratadas hacia los cuerpos de agua.

2) Análisis con base en una evaluación de los datos disponibles, caracterizar la condición del recurso hídrico e identificar estresores o causas de degradación;

   Corresponde a una evaluación del cumplimiento normativo vigente de calidad de aguas, a identificación de los principales responsables del deterioro de las mismas.

3) Desarrollar un plan o estrategias para restaurar y proteger las condiciones de los recursos hídricos para lograr objetivos específicos;

   Identificación de áreas de planificación de cuencas. Estas áreas de planificación de cuencas deben ser elegidas en base al tamaño y características de las cuencas hidrográficas, los aspectos de gestión de la calidad del agua, y el nivel de

participación de la ciudadanía local. Los planes pueden ser desarrollados para toda la cuenca o una porción de ella, es decir, una sub-cuenca.

Las metas para el plan de cuencas de Rhode Island son:

- Describir los recursos hídricos y el estado de la calidad del agua;
- Describir las acciones de protección y restauración que actualmente se están llevando a cabo en la cuenca.
- Crear un plan de acciones priorizado, específicas para proteger y restaurar la calidad del agua, asociado a la entidad pública responsable y plazos previstos para su ejecución.
- Establecer mecanismos entre las ciudades y otros para coordinar la ejecución del plan; y

Un plan de gestión de cuenca debe abordar los siguientes elementos mínimos:

a) Identificación de las causas de deterioro y de las fuentes o grupos similares que necesitan ser controladas para lograr reducciones de carga necesaria.
b) Una estimación de la reducción de la carga que se espera de las medidas de gestión.
c) Una descripción de las medidas de fuentes puntuales y difusas que deberán ser implementadas para lograr reducciones de carga en b), y una descripción de las áreas críticas en las que se necesitan esas medidas para poner en práctica este plan.
d) Estimación de las cantidades de asistencia técnica y financiera necesaria, los costos asociados, y/o las fuentes y autoridades clave para poner en práctica este plan.
e) Especificar las actividades o acciones de educación y difusión que se utilizarán para implementar el plan.
f) Calendario para la aplicación de las medidas.
g) Una descripción de hitos medibles provisionales para determinar si se están aplicando las medidas u otras acciones de control.
h) Un conjunto de criterios que puedan utilizarse para determinar si se están alcanzando reducciones de carga con el tiempo y el progreso sustancial que se está logrando respecto de los estándares de calidad del agua.
i) Un componente de monitoreo para evaluar la efectividad de los esfuerzos de implementación a través del tiempo.

4) Implementar estrategias para proteger y restaurar la calidad del agua y el hábitat acuático.

Un TMDL (carga total máxima diaria, por sus siglas en inglés) es un plan de restauración de la calidad del agua que establece las cargas contaminantes aceptables tanto de fuentes puntuales como difusas de contaminación, que permitan que el cuerpo de agua alterado cumpla con las normas de calidad. A través del proceso de desarrollo del TMDL, las condiciones de calidad del agua se caracterizan más a fondo y se identifican las fuentes de contaminación, esto proporciona la base técnica para las acciones de reducción de la contaminación que se especifican en los planes de restauración de la calidad del agua.

Hay varios pasos que son comunes en el desarrollo de la mayoría de los TMDLs:

a) Identificar los cuerpos de agua deteriorados y contaminantes que no cumplen con los estándares de calidad del agua.
b) Compilar los datos e información disponibles sobre la masa de agua y su cuenca.
c) Identificar las partes interesadas o que tengan un interés en el cuerpo de agua y/o cuenca.
d) Identificar las brechas de datos que necesitan ser levantados y/o tratados satisfactoriamente para caracterizar las condiciones de calidad del agua y las fuentes de contaminación que causan el deterioro, y cualesquiera factores que afectan a la extensión y la gravedad de la alteración.
e) Si es necesario, desarrollar e implementar un plan de monitoreo para recoger datos adicionales para una mayor caracterización de la calidad del agua y de las fuentes de contaminación.
f) Identificación de las fuentes de contaminación y su peso en las descargas totales, estimado la cantidad de la carga contaminante asociado a cada una de ellas.
g) Establecer los objetivos del TMDL y la carga admisible del contaminante de interés que el cuerpo de agua puede recibir y aun así cumplir con los estándares de calidad del agua.
h) Asignar cargas admisibles para fuentes puntuales y difusas, incluyendo un margen de seguridad.
i) Desarrollar un plan de implementación, identificando acciones específicas necesarias para lograr el objetivo de calidad para el cuerpo de agua.
j) Llevar a cabo reuniones pública y formalmente solicitar y responder a los comentarios del público;

5) Finalmente, evaluar los resultados y recorrer el proceso nuevamente utilizando información para adaptar la gestión a la luz de los nuevos datos.

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

5.1.1.5 Fuentes Difusas: sector silvoagropecuario

De acuerdo a Silva Jaque (2010), la norma Chilena del Agua (NCh 409/1 Oficial 2005), desde el año 2005 establece un límite máximo en el nivel de nitrógeno como nitrato en el agua potable de 50 ppm de N-NO3, y de 3 ppm de N como nitrito N-NO2-. Por otro lado, el nitrógeno como fertilizante se encuentra regulado en los artículos 57, 38 y 39 del Decreto Ley 3557 que establece obligaciones para los fabricantes, distribuidores y consumidores de fertilizantes. Sin embargo, la única exigencia legal que existe en esta materia es la obligación de indicar en la etiqueta la composición centesimal del producto en caso de que el fertilizante venga envasado, mientras que en el caso de la venta a granel del producto, esta indicación debe constar en la boleta o factura. Asimismo, cabe destacar respecto de la legislación nacional, que no existe una norma que establezca límites en la aplicación de nitrógeno como producto fertilizante. No obstante, hasta ahora, la ley chilena sólo regula y fiscaliza la composición de los productos fertilizantes que se comercializan y no contempla ninguna regulación en relación a las aplicaciones y manejos de los mismos de modo que no constituyan un riesgo para la salud y el medio ambiente, siendo en estos casos el órgano fiscalizador el SAG. Por ello, es muy importante que la aplicación de los nutrientes se realice de manera criteriosa, conociendo la riqueza del fertilizante y efectuando un balance respecto lo aportado por el suelo, la contribución proveniente del agua de riego y tomando en cuenta además la demanda proyectada según el rendimiento esperado.

En este sentido Silva Jaque (2010) plantea que la implementación de las buenas prácticas agrícolas en el uso de fertilizantes ha demostrado reducir tanto las aplicaciones de N como las emisiones asociadas de NO2-, incrementando además los rendimientos. Estudios realizados en China –el mayor consumidor mundial de fertilizantes minerales nitrogenados– han mostrado que las Buenas Prácticas Agrícolas en el uso de fertilizantes han reducido los aportes de N entre un 20-40%, aumentando las cosechas entre 2-12% y reduciendo las pérdidas entre un 10-50% en comparación con las prácticas tradicionales de cultivo. Sin embargo, debemos estar atentos, pues las Buenas Prácticas Agrícolas no son un concepto estático. Siempre se encuentran evolucionando, utilizando la ciencia como guía y proporcionan una comprensión de las relaciones complejas.

5.1.1.6 Fuentes Difusas: viviendas sin conexión a alcantarillado

En este aspecto, las principales fuentes difusas detectadas son viviendas sin conexión a alcantarillado y los diferentes usos de suelo presentes en la cuenca.

A. Viviendas sin Conexión a Alcantarillado

Un estudio realizado por la Universidad de Minnesota (Olson et al., 2001) detalla algunas propuestas de diseños estándares, basados en una vasta investigación y experiencia para ser utilizado en el tratamiento confiable de aguas residuales domiciliarias asociadas a sistemas de fosas sépticas. Estos sistemas se encontrarían instalados en el suelo original con un mínimo de 1.0 m de separación vertical a una capa restrictiva (aguas subterráneas, lecho de roca, agua dura, etc.). También reciben una carga de aguas residuales con calidades máximas de efluentes de 220 mg/L de DBO, 65 mg/L SST y 30 mg/L de aceite y grasas.

Filtros de arena de recirculación (RSF): los RSF utilizan principios similares a los filtros de arena. Los materiales en un RSF son gruesos (en comparación con un filtro de arena de un solo paso) y no eliminan los coliformes fecales tan eficazmente. Usan grava fina, permiten una carga a mayor velocidad y son más pequeños. Finalmente eliminan una cantidad significativa de nitrógeno.

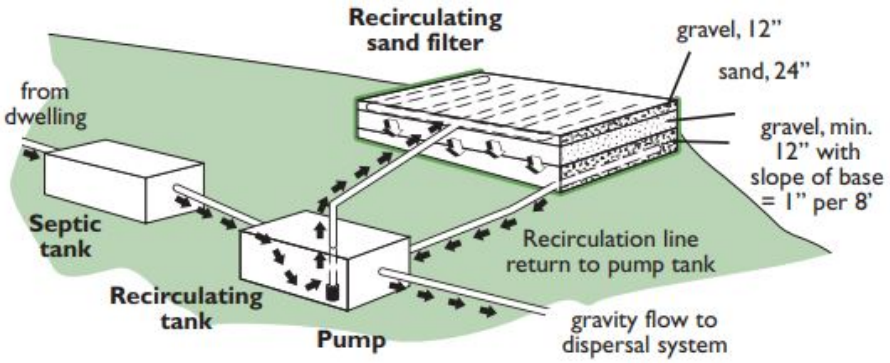


Figura 21. Filtro de arena de recirculación propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001).

Filtros de arena de un solo paso: Estos sistemas tienen un buen control de los patógenos. Debido a que los filtros de arena han estado en uso durante mucho tiempo, el diseño del sistema y la fiabilidad se encuentra bien establecida. Los materiales necesarios para hacer un filtro de arena son de fácil obtención.

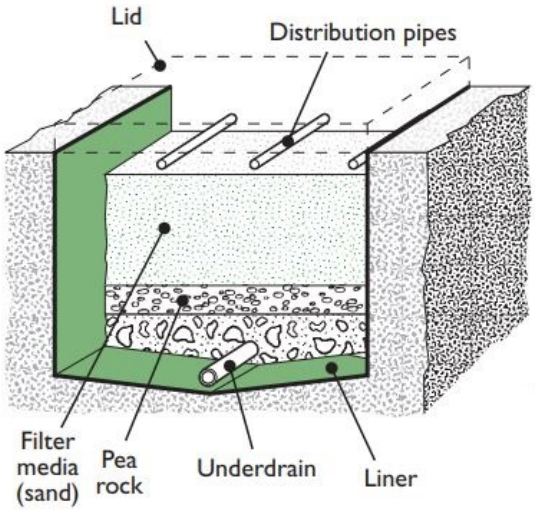


Figura 22. Filtro de arena de un solo paso propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001).

Filtros de turba: Los filtros de turba eliminan los patógenos y nutrientes de manera efectiva. Debido a que el medio tiene una base orgánica, se descompone con el tiempo y necesita ser reemplazado cada 10-15 años, que es significativamente más frecuente que un filtro de arena. Una complicación estética de los filtros de turba es que los contenedores prefabricados deben colocarse encima la superficie del suelo para respirar, donde se puede requerir paisajismo para disfrazarlos.

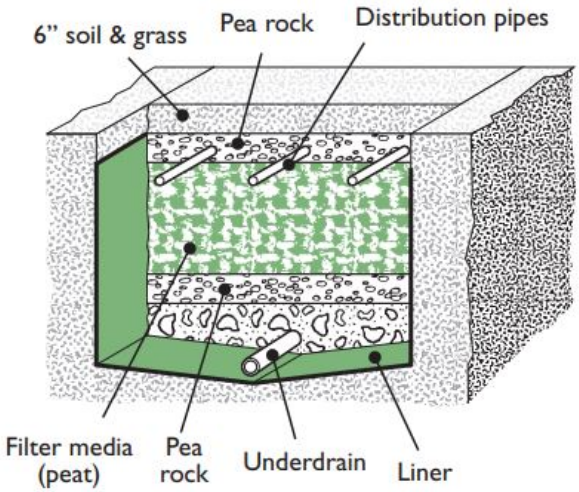


Figura 23. Filtro de turba propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001).

Humedales artificiales: Los humedales alineados usan plantas nativas para ayudar en el tratamiento de aguas residuales. Un sistema de humedal no es tan efectivo como un filtro de arena o turba, requiere un área significativamente más grande y puede que no sea tan efectivo como algunos de los tanques aeróbicos. El rendimiento varía según la temporada, un sistema de humedal funciona mucho mejor en verano que en invierno. La vegetación es una parte importante del proceso de tratamiento y por lo tanto debe ser mantenida y gestionada durante el año.

Por otro lado, un estudio realizado por Birch, Matthai, Fazeli, & Suh (2004), relacionado al efecto que las actividades antropogénicas tienene sobre cuerpos de agua receptores al generar diversos tipos de contamiantes, fue desarrollado en Australia. La calidad degradada del agua y los sedimentos, en el río Parramatta, Sydney, Australia durante la década de 1990 se atribuyó a la escorrentía de aguas pluviales urbanas. Para minimizar la entrada de sedimentos y contaminantes de aguas pluviales en los ecosistemas acuáticos, en mayo de 1999 se construyó un humedal en Riverwood, en el sur de Sydney.

Este corresponde a un humedal de unos 700m^2, pensado para una zona urbana de unos 480.000 m^2 que contiene casas, calles, jardines y áreas de estacionamiento (para mayor detalle del humedal artificial, favor referirse al artículo recién citado). La eficiencia de remoción de metales traza Cr, Cu, Pb, Ni y Zn fue 64%, 65%, 65%, 22% y 52%, respectivamente. Respecto de NOx, NT y NTK, la eficiencia de remoción fue de 22%, 16% y 12% respectivamente. Para el caso del PT, la eficiencia de remoción es de 9%. Respecto de la retención de coliformes fecales, este tiene una eficiencia promedio del 76% (rango 26% a 98%).

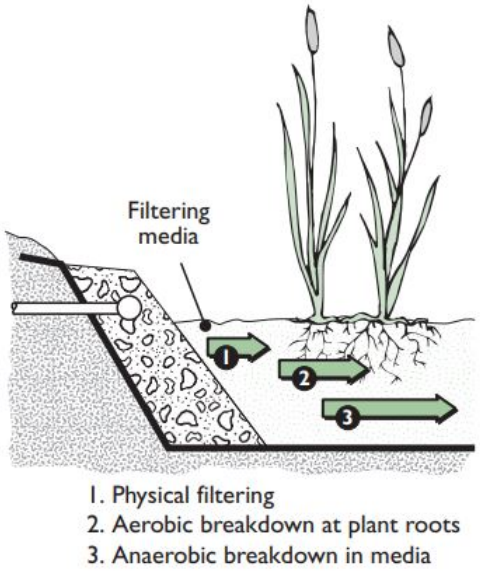


Figura 24. Humedal propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001)

Unidades de tratamiento aeróbico: las unidades de tratamiento aeróbico (ATU) son tanques individuales que requieren menos espacio que el de arena, los filtros de turba o los humedales artificiales. Es altamente efectivo en el proceso de descomposición de la materia orgánica.

Lombrifiltros: El lombrifiltro presenta altas eficiencias de remoción en términos de los parámetros de interés y tiene aplicación práctica en pequeñas instalaciones. Las eficiencias de remoción de NKT y PT son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado, observando una eficiencia del 60-70% para NT y 60-80% para PT. En el caso del NKT, el sistema permite la nitrificación casi completa (Auchen & Martínez, 2018).

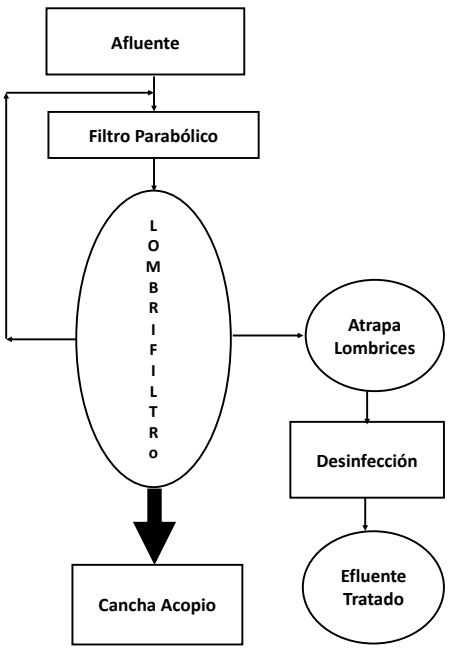


Figura 25. Sistema de tratamiento con lombrifiltro. Adaptado de (Auchen & Martínez, 2018).

Los sistemas duales o de separación: utilizan una combinación de dos o más tecnologías. Esto incluye un tanque de compostaje o de bajo flujo, este último como sistema independiente al sistema de aguas residuales común que maneja todas las aguas residuales. El segundo sistema podría ser cualquiera de los descritos anteriormente. Este sistema permite reducir el uso de agua e instalar un sistema más pequeño, esto puede proporcionar ahorros de costos en sí mismo, tratar los desechos del sistema a través de compostaje. Elimina alrededor del 70% del nitrógeno junto con otros nutrientes. El inconveniente de este sistema es que se requeriría de un gran cambio en el sistema de plomería para las casas ya existentes que quieran implementar la estrategia, además, se necesitan conocimientos específicos para operar de manera óptima la unidad de compostaje y un buen manejo de los sólidos que se generarán.

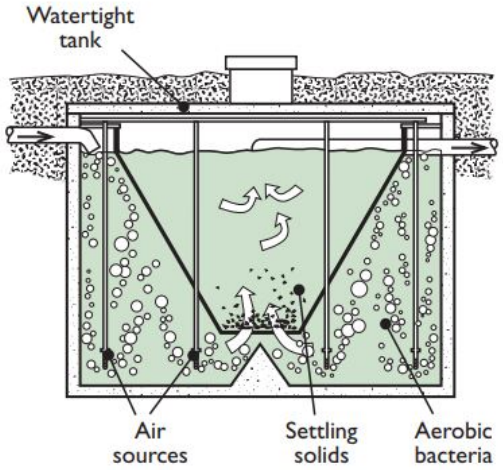


Figura 26. Sistema de tratamiento aeróbico propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001)

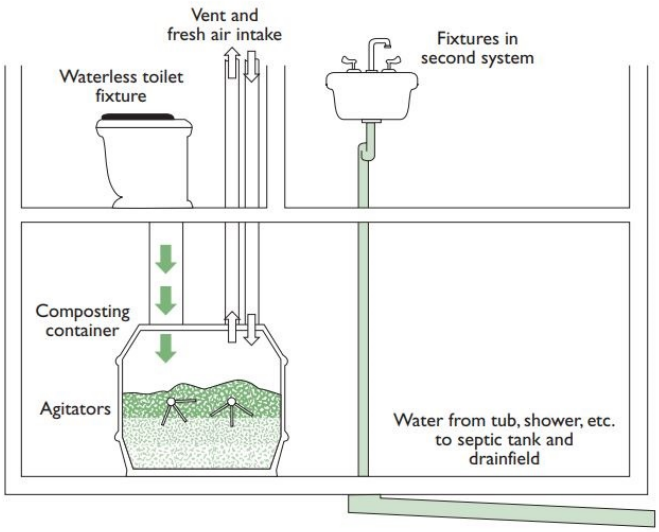


Figura 27. Sistema dual o de separación propuesto por Olson, Chard, Malchow, & Hickman (2001)

5.1.1.7 Fuentes Difusas: Vegetación Ripariana

El estudio realizado por EcoHyd (2016), indica que, respecto del uso de suelo, el más frecuente de esta área, es el bosque seguido de praderas y matorrales, representando una baja intervención antrópica en el sector. Los principales cambios del uso del suelo en el periodo (1997 - 2014) se registraron en el uso de los bosques, pradera y matorral, intercambiado sectores mutuamente.

EcoHyd (2016) plantea medidas de restauración tales como: la intervención de las zonas riparianas con presencia de cultivos tras las orillas. En éstos, se recomienda un gradiente de praderas, arbustos y árboles, desde los cultivos hasta el cauce. También restringir el ingreso del ganado a la zona ripariana a solo algunas semanas de verano, para que ramoneen los árboles y arbustos y, pasteen las herbáceas con el fin de exportar el fósforo y nitrógeno hacia afuera de la zona ripariana y para que las nuevas herbáceas crezcan sin restricciones de luz.

De acuerdo a Ríos, Triana, Bejarano, & Ruiz (2012) el procedimiento óptimo para la restauración ecológica de los sistemas fluviales es el que se presenta en la Figura 28. La evaluación del sistema fluvial corresponde a una evaluación física y geomorfológica del sistema fluvial degradado, la cual se realiza a partir de diferentes métodos como: Estilos geomórficos del río, evaluación del estado del río, evaluación del hábitat del río, sistema de evaluación integrada del hábitat y análisis de incrementos de flujo. Esta evaluación incluye: las características geomorfológicas del lecho del río y su valle, la distribución de hábitats dentro del canal (caídas, rápidos y pozos), la presencia y variedad de parches de sustrato uniforme, vegetación y velocidad de corriente y acceso de luz, y características longitudinales.

Otro aspecto importante, corresponde al diseño de procedimientos de restauración ripariana.

Algunas de las técnicas para la reconstrucción física del hábitat en los sistemas fluviales se presentan en la Tabla 17.

Por último, se propone una evaluación y monitoreo que definen 5 criterios de éxito para la restauración ecológica de los ríos:

1. Imagen guía de estado dinámico, es decir, un punto ecológico dinámico de llegada identificado a priori y usado para guiar la restauración.
2. Mejoramiento del ecosistema, es decir, condiciones ecológicas de río apreciablemente mejoradas.
3. Incremento de la resiliencia, es decir, el ecosistema es más autosostenible que antes de la restauración.

5. Daños no perdurables provocados, es decir, la implementación de la restauración no causa daños irreparables.
6. Evaluación ecológica completa, es decir, algún nivel de evaluación pre y post proyecto es transmitida y su información se hace disponible.

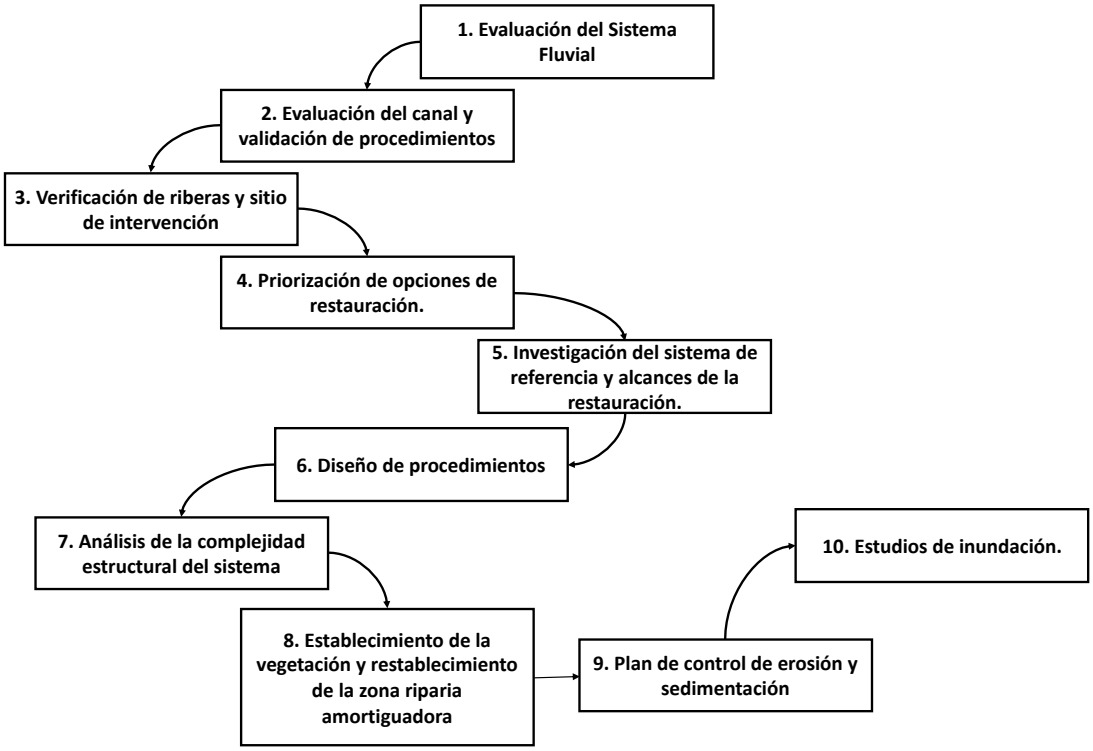


Figura 28. Procedimiento propuesto Ríos, Triana, Bejarano, & Ruiz (2012)

Tabla 17. Técnicas para la restauración de la estructura física de los bancos de los ríos Ríos, Triana, Bejarano, & Ruiz (2012).

Técnica	Descripción	Aplicación
Estacas vivas	Cortes leñosos vivos colocados al interior del suelo, las raíces que crecen forman un tapete viviente que estabiliza el suelo y envuelve las partículas por extracción de la humedad.	Efectiva en los sitios donde las condiciones no son complicadas, su tiempo de construcción es limitado y no es un método costoso. Es apropiado para reparar pequeñas caídas y deslices de tierra frecuentemente húmedos
Fajinas vivas	Cortes de ramas en dormancia unidos en manojo y colocados en zanjas superficiales sobre las pendientes, para reducir erosión y deslizamientos superficiales.	Pueden atrapar y mantener el suelo en los bancos, creando estructuras pequeñas con forma de represa y reduciendo la longitud de la pendiente en una serie de pendientes pequeñas.
Refuerzo de leños, fajo de raíces y cantos rodados	Atados de cantos rodados y leños con masas de raíces, ubicados en los bancos para proveer protección contra la erosión, trampas de sedimentos y mejorar la diversidad del hábitat.	Amplia resistencia con atados bien hechos. Adecuado para ríos donde existe deficiencia de hábitat para peces
Rip-rap	Manto de piedras de tamaño apropiado extendidas desde la punta de una cuesta a una altura necesaria.	Es comúnmente usado para proveer protección al banco en los ríos en los que se necesita durabilidad de largo plazo.
Protección de la punta del banco (bank-toe) con piedra	Cresta de piedra excavada (de cantera) o guijarros del rio, colocados en la punta del banco como armadura para desviar el flujo del mismo, estabilizar la pendiente y promover la deposición de sedimentos.	Debe ser empleada en los ríos donde la vegetación no puede ser usada. Las piedras previenen la remoción de material caído al banco, se acumula allí permitiendo la revegetación y estabilización de este.
Refuerzo de árboles	Fila de árboles interconectados unidos a la punta del banco de un río o en las cabezas muertas para reducir la velocidad del flujo a lo largo de bancos erosionados, proveer trampas de sedimentos y sustratos, para el establecimiento de plantas y control de erosión.	Trabajan mejor en ríos con alturas de banco inferiores a 3.6 m y velocidades con banco lleno inferiores a 1.8 m por segundo. Capturan sedimento y mejoran las condiciones para la colonización por especies nativas, particularmente en ríos con altas cargas de material en el lecho.
Geomallas vegetadas	Capas alternadas de cortes de ramas vivas y suelo compacto, ajustadas con geotextil natural o sintético y dispuestas alrededor de suelo levantado para reconstruir y revegetar bancos erosionados.	Establecimiento rápido de la vegetación ripariana, si son apropiadamente diseñadas e instaladas. Pueden ser instaladas en una pendiente escarpada y muy alta, tienen muy alta tolerancia inicial a la velocidad del flujo.

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

5.1.1.8 Fuentes Puntuales

Respecto a los sistemas de tratamiento para pisciculturas de tierra, estos se pueden dividir en dos grupos: Sistemas de tratamiento para Pisciculturas de Recirculación y sistemas para Pisciculturas de Flujo Abierto.

Por lo general, las pisciculturas de recirculación tienen un mayor control de sus emisiones al poseer equipos especialmente diseñados para abatir las concentraciones de nitrógeno, fósforo y materia orgánica. De acuerdo a Nieto et al. (2010), en lo relativo al uso eficiente del agua, cabe destacar que las pisciculturas con sistemas de recirculación presentan una mayor eficiencia, ya que sólo utilizan entre un 3-10% del agua de una piscicultura con flujo abierto. Siendo este factor uno de los efectos más relevantes de los sistemas de flujo abierto, cuyos impactos están principalmente asociados a la utilización de grandes volúmenes de agua.

Por otro lado, Nieto et al. (2010) también plantea que los efluentes de ambos sistemas (abierto y recirculación) se rigen por la norma de emisión (DS 90), pero dado que a la fecha la normativa sectorial aplicable a estos proyectos solamente evalúa la concentración de los nutrientes en el agua y no la carga total de éstos, es que las pisciculturas de flujo abierto no están siendo evaluadas o monitoreadas de manera adecuada, ya que por los grandes volúmenes de agua que descargan, se produce un efecto de dilución de sus contaminantes. Es por este motivo que se requiere que tales regulaciones ambientales incorporen el factor de la carga total, ya que se podrían generar problemas de enriquecimiento orgánico y efectos acumulativos lejos de la fuente emisora. En este sentido, Nieto et al. (2010) plantea que está documentado por León-Muñoz, Tecklin, Farias, & Díaz (2007) que este tipo de cultivo intensivo desarrollado en ambientes lacustres contribuye al deterioro de la calidad del agua especialmente por el significativo aporte de fósforo y nitrógeno soluble, lo que genera un desbalance y un cambio en el estado trófico del cuerpo de agua. Un lago que originalmente posee una condición oligotrófica puede derivar a una condición mesotrófica o eutrófica cuando la disponibilidad de estos elementos excede las concentraciones naturales históricas del cuerpo de agua. Otra consecuencia del cambio en la disponibilidad mayor de nutrientes en un lago es el aumento significativo de la productividad primaria, expresada en la aparición inusual de plantas acuáticas o en la mayor concentración de microalgas en la columna de agua.

Dicho lo anterior, bajo la suposición real técnica de que todas las pisiculturas (de flujo abierto y cerrado) cumplen con la norma de emisiones (DS 90), y que las pisiculturas de recirculación utilizan entre un 3-10% del agua utilizada por una de flujo abierto. Entonces es lógico asumir, que en términos de carga, las pisciculturas de recirculación, emitén entre un 90-97% menos nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) que una de flujo abierto.

Respecto de las pisciculturas de flujo abierto, estas poseen sistemas de abatimiento más simples, los cuales solo tienen el fin de recolectar el material particulado en suspensión, quedando la fracción disuelta libre de cualquier tratamiento. La Figura 29 presenta un esquema que resume el proceso de tratamiento de una planta de flujo abierto. En una piscicultura de estas características, los flujos pueden ir de 0.5 a 3.5 m^3/s, lo cual hace prácticamente inviable, desde un punto de vista económico, implementar un sistema de tratamiento que se encargue de la fracción disuelta. Sin embargo, existe una posibilidad de disminuir la carga de nutrientes en una planta de estas características. La Figura 29 muestra un equipo de decantación luego de los filtros de tambor rotatorio. Por lo general, las empresas toman el sobrenadante del decantador y lo reingresan al sumidero que alimenta a los filtros de tambor rotatorio, esto luego de algún tipo de pretratamiento químico que acelere la oxidación de materia orgánica. El flujo de esta línea de reingreso de sobrenadante puede ir de los 0.01 a los 0.05 m^3/s, y este es un flujo que requeriría una inversión mucho menor para ser tratada que los 0.5 a 3.5 m^3/s del flujo total. Además, la carga de nutrientes y materia orgánica de la línea del sobrenadante puede llegar a ser responsable de un porcentaje importante de la carga total de material disuelto emitido en el efluente. Para optimizar este proceso es necesario monitorear de forma perídica los puntos indicados con las letras A a E, con variables de calidad N-NH4, N-NO2, N-NO3, NTK, NT, P-PO4, PT, pH, Conductividad, Temperatura y Caudal. Conocer estas variables permitirá establecer la eficiencia de remoción actual del sistema y la posibilidad de un rediseño del sistema.

La Figura 30 presenta una alternativa propuesta por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua al tratamiento convencional de las pisciculturas de flujo abierto, el cual consiste en incorporar un tratamiento secundario de lodos activos modificado para fijar fósforo, seguido de un digestor anaerobio de lodos. Esto permitiría disminuir la carga de nitrógeno y fósforo de la corriente de sobrenadante de los decantadores de los Filtros Rotatorios.

La secuencia consiste en una primera etapa anoxica, la cual cumpliría el doble propósito de la desnitrificación y la fijación de fósforo en las bacterias, seguido de una etapa aerobia la que permitiría la nitrificación, la tercera etapa corresponde a un clarificador el cual generaría dos corrientes, uno de agua tratada y otra de lodos. Respecto de los lodos del clarificador, estos podrían ingresar a un digestor anaerobio en conjunto con los lodos de sedimentador de los filtros rotatorios, generando biogás para procesos térmicos y por otro lado un fertilizante rico en nutrientes.

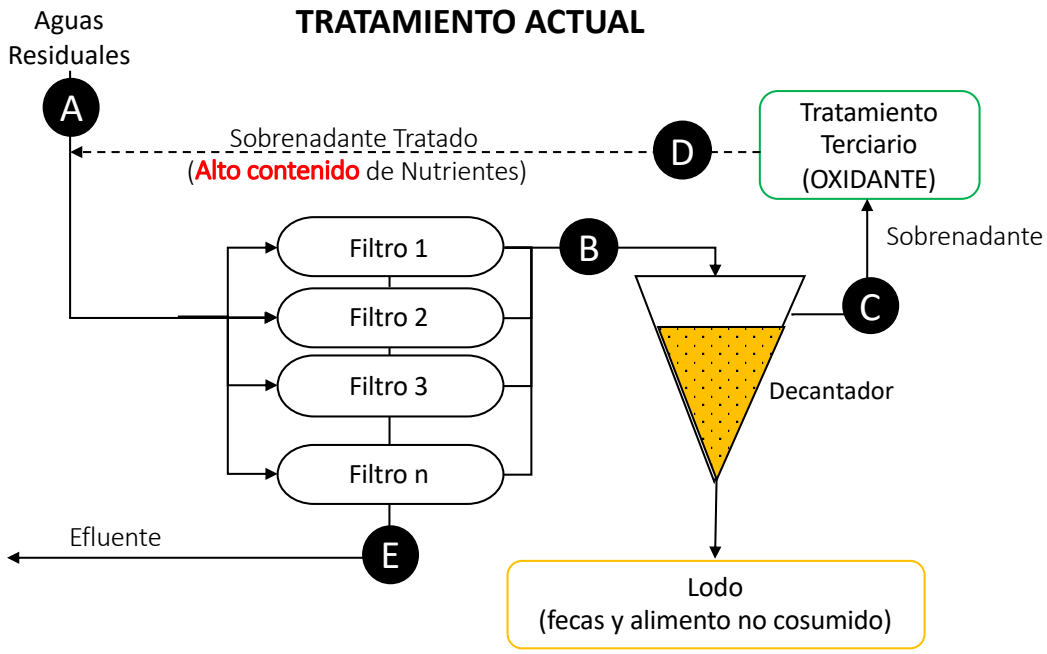


Figura 29. Esquema de secuencia de tratamiento de aguas residuales en una piscicultura de flujo abierto.

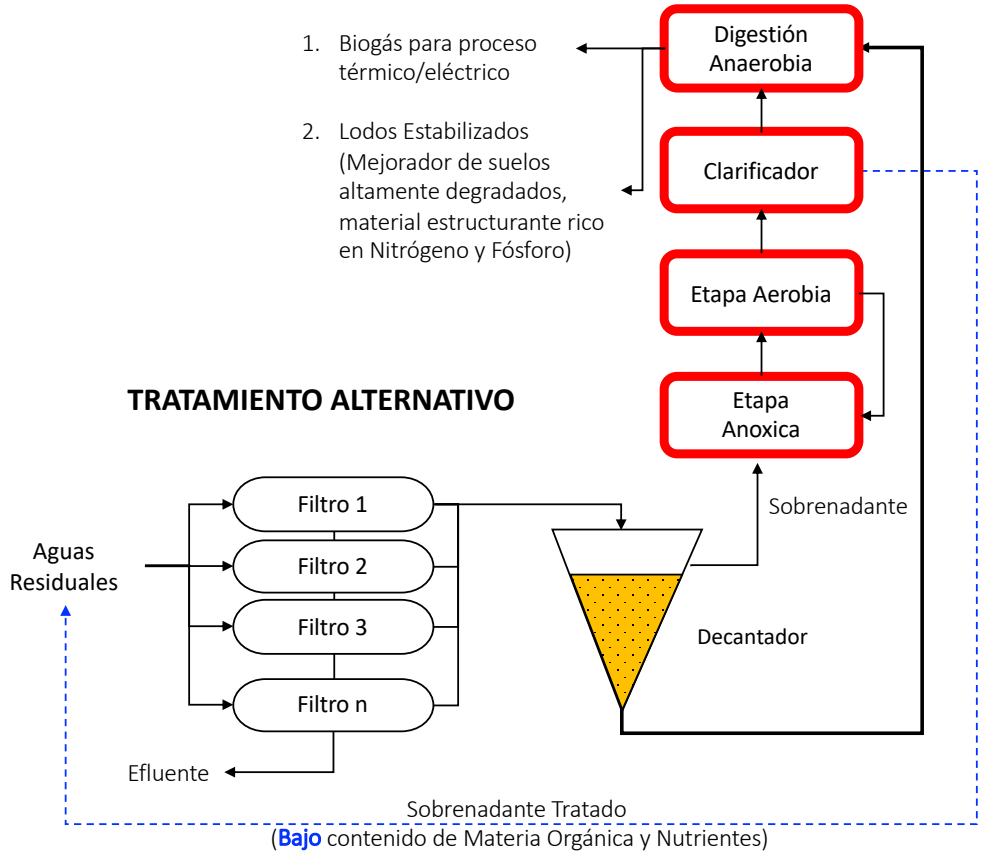


Figura 30. Esquema de secuencia de tratamiento de aguas residuales en una piscicultura de flujo abierto propuesta por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua de la Universidad de La Frontera.

Otra técnica que es posible evaluar en las actividades de piscifactorías es la implementación de humedales artificiales.

De acuerdo a SustainAqua (2009), En los ecosistemas de humedal, la concentración de contaminantes disminuye con los procesos naturales de purificación con plantas acuáticas que son capaces de asimilarlos. El vertido de sólidos en suspensión se sedimenta y se transforma en nutrientes solubles que se utilizan a través de los organismos de los humedales. Un ejemplo de ello se encuentra localizado en el sistema de estanques experimentales del Instituto de Investigación de Pesca, Acuicultura e Irrigación (HAKI) en Szarvas, Hungría. Este sistema trata los efluentes de una piscicultura de bagre africano (Clarias gariepinus) que funciona en circuito abierto, aun que por los datos de consumo de agua (65.6 m^3/día) tiene mayor semejanza a un sistema de recirculación.

En particular, el humedal en sí fue probado con 2 especies por separado (2 humedales) en paralelo. Ambos humedales de 2.288 m^2 y con una profundidad de 0.5m. una observación interesante del estudio es que durante el tiempo de retención hidráulica, el volumen de agua en el interior de los estanques disminuyó por efecto de la evaporación, evotranspiración y pérdidas por fugas. Por ello, el volumen de salida de agua fue más bajo, entre 55-57%, del volumen total de entrada de agua al sistema.

Los Humedales antes descritos serás considerados como A y B, donde:

Módulo	Área	Profundidad	Especie	Imagen
A	2.288 m^2	0.5 m	Carrizo (Phragmites australis)	
			Lenteja de agua	
B	2.288 m^2	0.5 m	Espadaña (Typha latifolia, T. angustifolia)	

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

De esta manera la eficiencia de retención de nutrientes para cada uno se presenta a continuación:

	Nitrógeno			Fósforo			Carbono		
Módulo	Entrada kg	Salida kg	Retención %	Entrada kg	Salida kg	Retención %	Entrada kg	Salida kg	Retención %
A	207	77.4	62.6	35.6	20.5	42.2	526	325	38.2
B	196	46.5	76.3	33.4	15.1	54.8	495	279	43.6

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

5.3.2. Diseño de escenarios de reducción de emisiones

Algunas medidas que han sido sugeridas por Ministerio de Medio Ambiente para su evaluación y modelación son la Reforestación, Buenas Prácticas Agrícolas, Fertilización y Vegetación Ripariana. De ellas, este estudio sólo puede evaluar las medidas de reforestación de praderas y pastizales, reforestación de matorrales, reforestación ribereña, resforestación de zonas erocionadas y por último, un análsisi sobre un supuesto de reducción en la aplicación de fetilizantes asociado a praderas anuales y perennes.

Las medidas agropecuarias y fertilización son complejas de evaluar en este momento. Las Buenas Prácticas Agrícolas no son de gran impacto en la Cuenca del Villarrica, éstas se encuentran representadas por las coberturas Otros Cultivos (Cob-1) y Huertos (Cob-2) (ver Tabla 11 y Figura 9a-b), las cuales no son significativas en la cantidad de superficie en hectáreas ni en el aporte de Nitrógeno y Fósforo.

Por otro lado, al hablar de Fertilización, el foco pasaría a otra cobertura, la cual tiene que ver con Praderas. Las praderas están representadas por 4 categorías (ver Tabla 11) pero de ellas son las coberturas Praderas Anuales (Cob-9) y Otros Pastizales (Cob-11) las que mayor aporte de Nitrógeno y Fósforo Total genera para la categoría Praderas. Esto se debe a que son las que más superficie en hectáreas ocupan en la cuenca, 4.99% y 8.85% respectivamente. El aporte de la coberturas Praderas Anuales (Cob-9) es NT:9.2% y PT:3.5%, por otro lado el aporte de Otros Pastizales (Cob-11) es en NT:16.7% y PT:6.3% (Figura 9a-b). La cantidad de Nitrógeno y Fósforo que estas dos categorías aportan tienen que ver con los factores de exportación utilizados, los cuales han sido estimados a partir de los factores utilizados en estudios anteriores y los reportados por el La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de EE.UU (NOAA). El realizar cambios en estos factores implica realizar un estudio que permita definir un valor real de estos factores para la cuenca (ya que actualmente solo tenemos supuestos), y un valor probable al reducir la cantidad de fertilizantes o cambiar el tipo de fertilizante, lo cual, en la actualidad, significaría añadir más supuestos sobre supuestos. Sin embargo, se hace un esfuerzo en este estudio y se asume una posible reducción por buenas prácticas.

De esta manera, y de momento, solo tres medidas podrían ser evaluadas: Reforestación, Vegetación Ripariana y reducción en la aplicación de fertilizantes.

De estos supuestos, iniciaremos describiendo el 3-b, referente al análisis de la erosión de la cuenca.

5.1.1.9 Análisis de la erosión en una cuenca hidrológica

La erosión puede desencadenar la disminución de las zonas cultivables, la fertilidad de los suelos, la capacidad de retención de zonas inundables o incluso puede la colmatación y eutrofización de masas de agua. Por tanto, el estudio de la erosión del suelo resulta especialmente importante en ámbitos como la agricultura, la explotación forestal, la hidrología y demás ciencias relacionadas con el medio ambiente.

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

Uno de los métodos más utilizados para su cálculo y que ha tenido mayor aceptación y difusión ha sido la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE), que establece seis factores diferentes como los responsables de las pérdidas anuales de suelo:

$$A=R*K*L*S*C*P \qquad \text{(ec. 2)}$$

Donde **A** corresponde a las pérdidas anuales de suelo[ton/ha/año], **R** corresponde al índice de erosividad de la lluvia [MJ*mm/ha*h], **K** corresponde a la erosionabilidad del suelo [ton/ha por unidad de R], **L** corresponde a la longitud de la ladera [adimensional], **S** corresponde al factor topográfico producto de los factores longitud de la ladera L y su pendiente [adimensional], **C** corresponde al factor de cubierta vegetal [adimensional] y finalmente **P** corresponde al factor de prácticas de conservación de suelos o prácticas de manejo [adimensional].

Se desea obtener y analizar el riesgo de erosión de una cuenca hidrológica y el proceso seguido para obtener cada uno de los factores que intervienen en la USLE es el siguiente (ver Figura 31):

1. **Factor R:** disponemos de una capa vectorial de la erosividad de la lluvia en nuestro ámbito de estudio. Con esta capa habrá que obtener el ráster correspondiente.
2. **Factor K:** disponemos de una capa vectorial que contiene los valores de erosionabilidad/ erodabilidad del suelo en el área de estudio, de esta manera habrá que obtener el ráster correspondiente.
3. **Factor L*S:** a partir del MDT calcularemos de forma independiente la pendiente (factor S) y la longitud de ladera (factor L) y una vez obtenidos aplicaremos la fórmula de (Moore & Burch, 1986) para generar el ráster de factores topográficos.
4. **Factor C:** se ocupa el factor de cubierta vegetal indicado en la Tabla 18.
5. **Factor P:** en nuestra zona no existen o se desconocen si existen prácticas de manejo, por tanto, asumiremos que el factor P es 1.

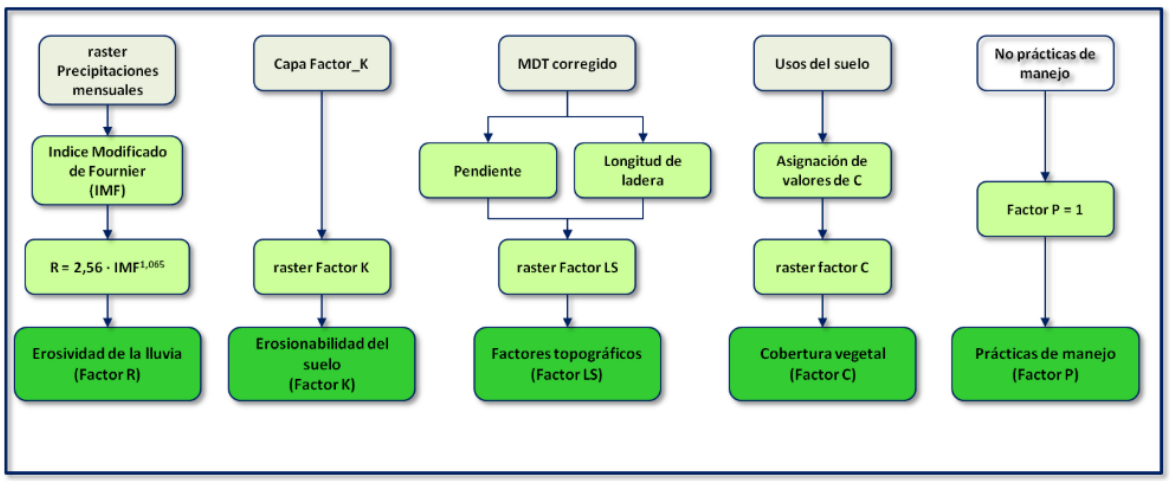


Figura 31. Esquema referencial para la obtención de factores necesarios en la ecuación USLE.

A. Índice de erosividad de la lluvia (factor R)

La erosividad de la lluvia se puede definir como su agresividad sobre el suelo. Representa la energía con que las gotas de lluvia que caen a una determinada intensidad pueden romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable (IDE CHILE, 2016).

B. Índice de erosionabilidad (factor K)

El factor K (erosionabilidad/erodabilidad del suelo) refleja su vulnerabilidad a la erosión y se calcula en base a sus propiedades físicas. La erodabilidad se refiere a la resistencia del suelo y depende de la estabilidad de los agregados que a la vez dependen de la naturaleza de su cemento, del grado de cementación, y de la naturaleza de las partículas que los forman.

El término K representa la erodabilidad del suelo, expresada en unidades de ton/ha por ha*h/MJ*mm. Los valores de erosionabilidad del suelo se encuentran entre 0 (suelo no erosionable) y 1 (suelo muy erosionable) (IDE CHILE, 2017). Los suelos de textura fina con alto contenido de arcilla tienen valores bajos de K (0.05-0.15), porque poseen resistencia al desprendimiento a partir de su cohesión, mientras que suelos de textura mediana tienen valores moderados de K (0.25-0.4) ya que presentan bajas tasas de escurrimiento superficial debido a su permeabilidad (Reyes Garcés & Álvaro, 2013). Luego, es de esperar que los valores más elevados de K estén asociado a los suelos en que predomina el limo, dado que estos no poseen cohesión ni buena capacidad de infiltración.

Los valores de K ocupados en este caso fueron: Fina (arcillosa) 0.05-0.15, Mediana (franca) 0.25-0.4 y Gruesa (arenosa) >0.4.

C. Factores Topográficos (LS)

Los factores topográficos se refieren a la longitud de la ladera (L) y su pendiente (S) y ambos forman el factor conocido como LS. Se calculará el factor LS mediante la fórmula de (Moore & Burch, 1986):

$$LS = \left(Flow\ accumulation * \frac{cell\ size}{22.13}\right)^{0.4} * \left(sin\frac{slope}{0.0896}\right)^{1.3} \qquad \text{(ec. 3)}$$

Donde *Flow Accumulation* es el número de celdas que contribuyen al flujo en una celda dada, *cell size* (30 m) es la longitud del tamaño de un lado de las celdas y *sin slope* es el seno de la pendiente en radianes. La pendiente calculada (en grados) debe multiplicarse por π/180 para obtenerla en radianes.

D. Factor de cubierta o cobertura vegetal (C)

El factor C representa la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y a la fuerza del flujo superficial. Los valores del factor C ocupados se presentan en la Tabla 18.

E. Factor P

No se han detectado prácticas de manejo (P) en la región por lo que asumiremos que el factor P es 1 para todo el ámbito.

De esta manera, El mayor valor de erosividad de la lluvia (IDE CHILE, 2016) que se alcanza es de 100 [MJ*mm/ha*h] presentando un mínimo de aproximadamente 50 [MJ*mm/ha*h]. Observamos que los valores más elevados de erosividad se concentran en las cotas más altas. En base a este factor, cabe esperar que el mayor nivel de erosión se produzca en las zonas con mayor índice de erosividad de la lluvia, es decir, la zona precordillerana.

El factor K de erodabilidad del suelo refleja su vulnerabilidad a la erosión y se calcula en base a sus propiedades físicas (IDE CHILE, 2017). El ráster generado con los valores de K para el ámbito de estudio se mueve en el rango de 0.05 a 0.6 ton/ha por ha*h/MJ*mm, ver Figura 32.

Para el cálculo del factor LS (ec.) es necesario multiplicar la acumulación de flujo por el tamaño de la celda lo que representa la longitud de escurrimiento. Nuestro máximo valor de acumulación de flujo es de 2,882,589 celdas, lo que multiplicado por el tamaño de la celda (30 m) daría como resultado una longitud máxima de escurrimiento de 86,477,670 metros. Utilizar estos datos sería erróneo, pues estaríamos sobreestimando el valor de la longitud de pendiente y podríamos obtener valores exagerados de erosión. Para evitar esta sobreestimación debemos restringir la longitud estableciendo por ejemplo una longitud máxima de 300 m, lo que equivale a 10 celdas.

Para cuantificar el rango de pérdida de suelo hemos utilizado alguna de las clasificaciones existentes a este respecto. Las pérdidas de suelo se establecen por niveles erosivos establecidos en el "Mapa del grado de erosión Hídrica de los suelos de la CAPV" (Gobierno Vasco, 2005), según la clasificación presentada en la Tabla 19. La Figura 33 presenta un resumen de la distribución de valores LS y C en la cuenca.

En conclusión, el 93.20% de la superficie en la cuenca presenta niveles de erosión muy bajos (las pérdidas de suelo son tolerables). Los procesos erosivos graves-extremos (50-200 ton/ha*año) se producen en sólo un 0.42% de la superficie. El detalle de los niveles erosivos obtenidos puede verse en la tabla siguiente:

Pérdidas de suelo (ton/ha*año)	Distribución de superficies (%)	Superficie (ha)
0-10	93.20	266,272
10-50	6.39	18,247
50-200	0.42	1,189

Mayor detalle de la pérdida de suelo expresado en (ton/ha*año) puede observarse en el la Figura 34.

Tabla 18. Factores de cobertura vegetal utilizados[5]

Coberturas de suelo	Factor C
Otros Cultivos	0.24
Huertos	0.24
Barbechos	0.24
Bosque Nativo de Hoja Ancha Primario	0.009
Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable	0.009
Bosque Nativo Coníferas Renovables	0.009
Bosque de Plantaciones de Hoja Ancha Adultas	0.064
Bosque de Plantaciones Coníferas Adultas	0.064
Praderas Anuales	0.12
Praderas Perennes	0.12
Otros Pastizales	0.014
Pastizales Áridos	0.014
Matorrales	0.014
Matorrales Arborescentes	0.014
Otros Matorrales Áridos	0
Humedales Marismas	0
Lagos	0
Reservorios	0
Ríos	0
Océanos	0
Superficies Impermeables	0.03
Suelos Arenosos	0.4
Suelo Rocoso - Roca	0.03
Suelo Rocoso - Grava	0.03
Nieve	0
Nubes	0

Tabla 19. Factores de cobertura vegetal utilizados (Gobierno Vasco, 2005)

Pérdidas de suelo (ton/ha/año)	Interpretación
0	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como puedan ser espacios urbanos, carreteras, embalses, entre otros.
0 – 5	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta.
5 – 10	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables. Probablemente no hay erosión neta.
10 – 25	Zonas con proceso de erosión leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25 – 50	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión aunque puede no ser apreciable a simple vista.
50 – 100	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable a simple vista.
100 – 200	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifiesta a simple vista.
>200	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

[5] Factores tomados del Tecnical Guide for OpenNSPECT, Version 1.1. September 2012. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center.

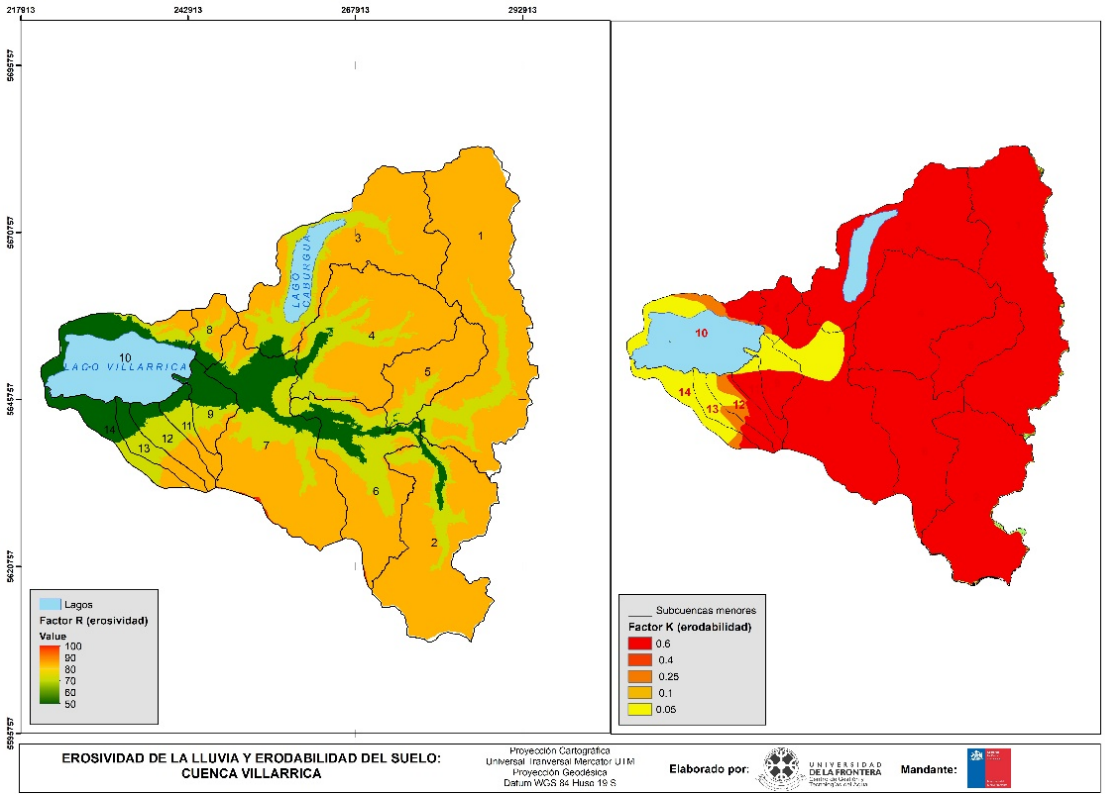


Figura 32. Mapa esquemático de los valores de los factores R y K en la cuenca del Lago Villarrica.

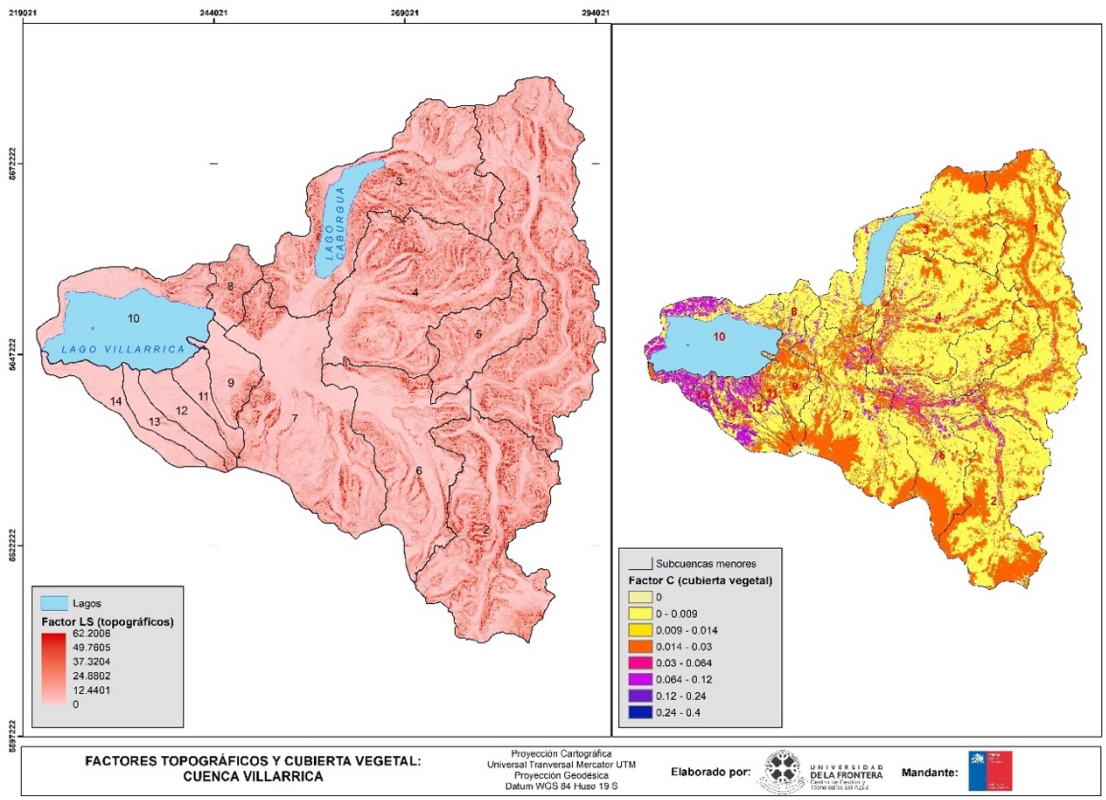


Figura 33. Mapa esquemático de los valores de los factores LS y C en la cuenca del Lago Villarrica.

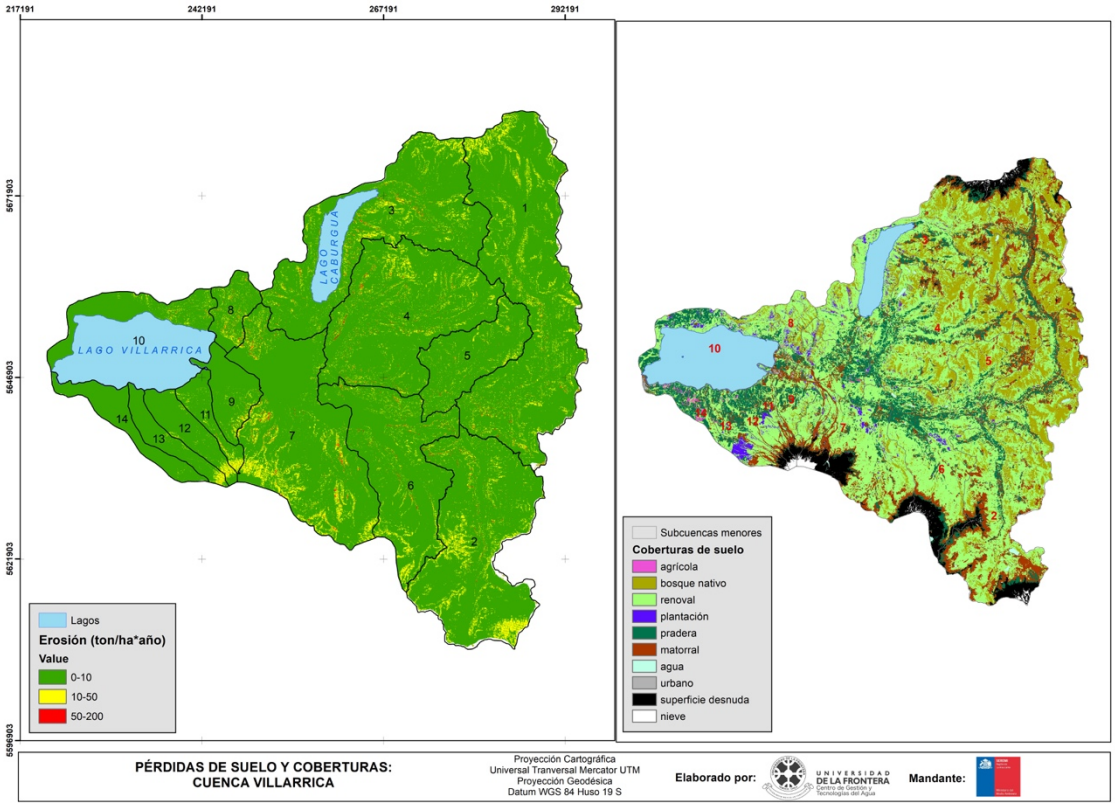


Figura 34. Mapa esquemático de niveles de erosión en la cuenca del Lago Villarrica.

5.1.1.10 Evaluación de medidas de reducción de emisiones fuentes difusas

Se proponen 5 medidas relacionadas a fuentes difusas, estas son:

1. Cambio de coberturas del buffer de 30 m de la red de drenaje por una cobertura de bajo impacto en emisiones (ton/año/ha).
2. Cambio de la cobertura de todas las praderas y todos los pastizales por una cobertura de bajo impacto en emisiones (ton/año/ha).
3. Cambio de la cobertura de matorrales por una cobertura de bajo impacto en emisiones (ton/año/ha).
4. Cambio de zonas con alta erodabilidad por una cobertura de bajo impacto en emisiones (ton/año/ha).
5. Reducción en los factores de exportación asociados a praderas anuales y perennes.

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 11, Figura 8 y Figura 9, el camcio de cobertura planteado en las 4 primeras medidas antes mencionadas, será realizado por la cobertura Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5), debido a que es la que menos carga aporta al lago por superficie cubierta.

Respecto de la redución de los factores de exportación asociados a praderas, se considerará una reducción un 30% del factor de exportación, esto en relación a lo

expuesto en la sección “Fuentes Difusas: sector silvoagropecuario”, ya que este valor es intermedio al rango posible de un 20-40%.

Desde un punto de vista global, de todas las medidas evaluadas, la reforestación de praderas y pastizales es la que mayor reducción generaría para PT y NT, pero a la vez es la que mayor intervención de superficie requiere, la Figura 35 presenta un resumen del impacto global por medidas y la cantidad de hectáreas involucradas. La Figura 39 presenta un análisis más al detalle por cada medida en función de las subcuencas involucradas.

La Figura 36 presenta un ejemplo que permite una inspección visual de las zonas de interés para evaluar los cambios de cobertura que permitan una reducción de nutrientes. El detalle de todas las subcuencas se encuentra en el Anexo 6. De la Figura 36 es posible observar que A1 corresponde a la carga de NT acumulado, A2 a la carga de PT acumulado, B muestra las pendientes en un buffer de 30m, C muestra el nivel de erosión en la subcuenca, D presenta los tipos de cobertura en un buffer de 30m y E un ensamble de la cobertura de praderas más los diferentes tipos de cobertura en un buffer de 30m.

De las medidas evaluadas, el cambio de cobertura de praderas a Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5) es la qué más reducciones generaría a nivel de cuenca, la Figura 37 muestra una comparación de las reducciones hipotéticas. Para el caso de Fósforo Total, la reforestación de praderas lograría una reducción de un 12.4%, la reforestación de zonas erosionadas le seguiría logrando una reducción total del 6.7%. En conjunto, las 5 medidas evaluadas lograrían una reducción del 26% para Fósforo Total. Por otro lado, en Nitrógeno Total, la reforestación de praderas lograría una reducción de un 21.8% y le seguiría la reforestación de matorrales con un 13.6%. En conjunto, las 4 primeras medidas evaluadas lograrían una reducción del 43% para Nitrógeno Total.

Respecto de las reducciones asociadas a mejores prácticas agrícolas, estas tendrían un impacto reducido 1.5% para Fósforo Total y 2.8% para Nitrógeno Total.

La Figura 38 presenta un análisis comparativo de la reducción de emisiones asociado a la aplicación de las medidas de reducción para Fósforo y Nitrógeno Total a nivel de Subcuencas.

Respecto del Fósforo Total (Figura 38a), las subcuencas que se verían más beneficiadas con la aplicación de las medidas en su conjunto (sobre el 40% de reducción) serían Candelaria - Los Chilcos (Sub.C-12), Volcan Villarrica (Sub.C-11) y Ribera Norte (Sub.C-10), acumulando una reducción de un 54.9%, 41.8% y 40.5% respectivamente.

Respecto del Nitrógeno Total (Figura 38b), las subcuencas que se verían más beneficiadas con la aplicación de las medidas en su conjunto serían (sobre el 50% de reducción) serían Huincacara (Sub.C-14: 71.4%), Candelaria-Los Chilcos (Sub.C-12: 65%), Ribera Norte (Sub.C-10: 62.2%), Volcan Villarrica (Sub.C-11: 60.8%), Molco (Sub.C-13: 55.3%) y Pucón-El Claro (Sub.C-9: 53.9%).

La Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23 presentan el detalle de las reducciones por las medidas de reforestación del buffer de 30 m en la red de drenaje de cada sub cuenca, reducciones por las medidas de reforestación de praderas, reforestación de matorrales, reforestación de zonas erosionadas y cambio de los factores de exportación para praderas, respectivamente. Los valores presentados en estas tablas no consideran la superficie de cada subsubcuenca.

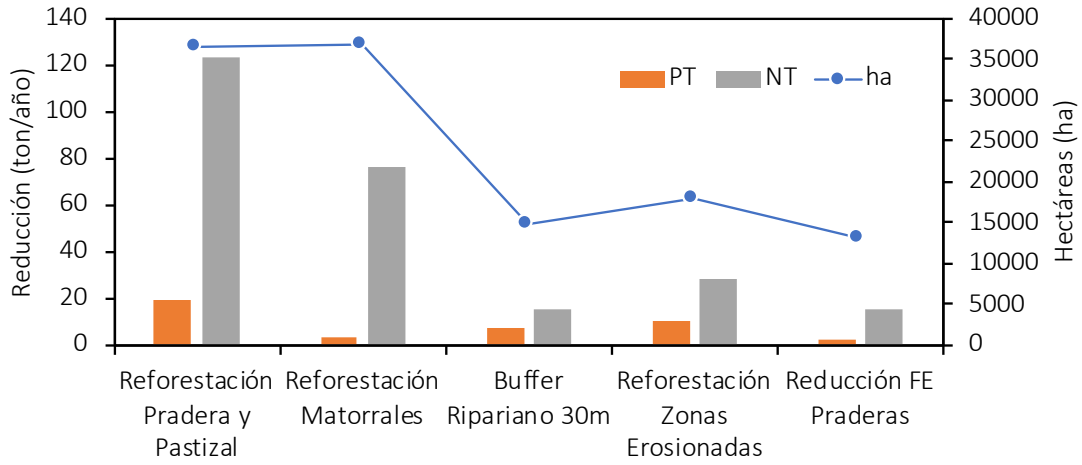


Figura 35. Reducción global de emisiones por cada medida y el número de hectáreas involucradas en la implementación de cada una de ellas.

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

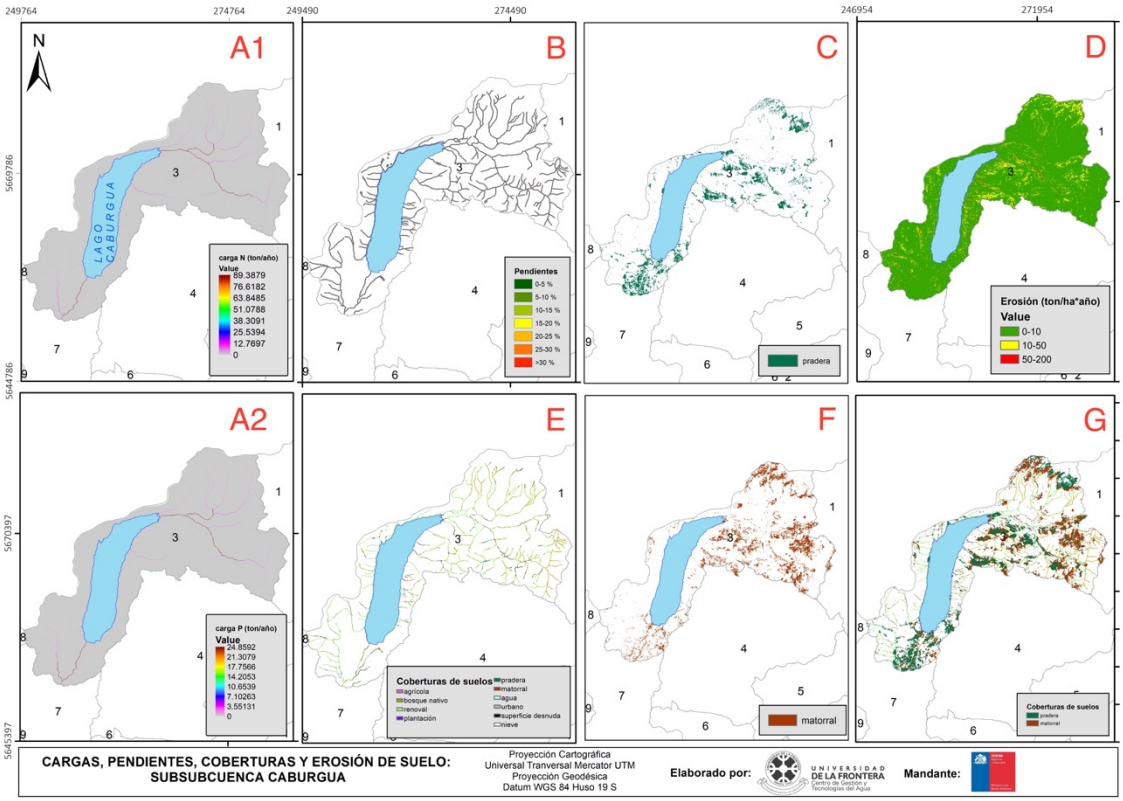


Figura 36. Ejemplo de mapa comparativo para evaluación de medidas de reducción por cambio de coberturas. **A1:** carga de NT, **A2:** carga de PT, **B:** Pendientes en un buffer de 30m, **C:** Cobertura de praderas, **D:** Nivel de erosión en la subcuenca, **E:** cobertura en un buffer de 30m, **F:** Cobertura de Matorral y **G:** Cobertura de praderas + Cobertura Matorral + cobertura en un buffer de 30m.

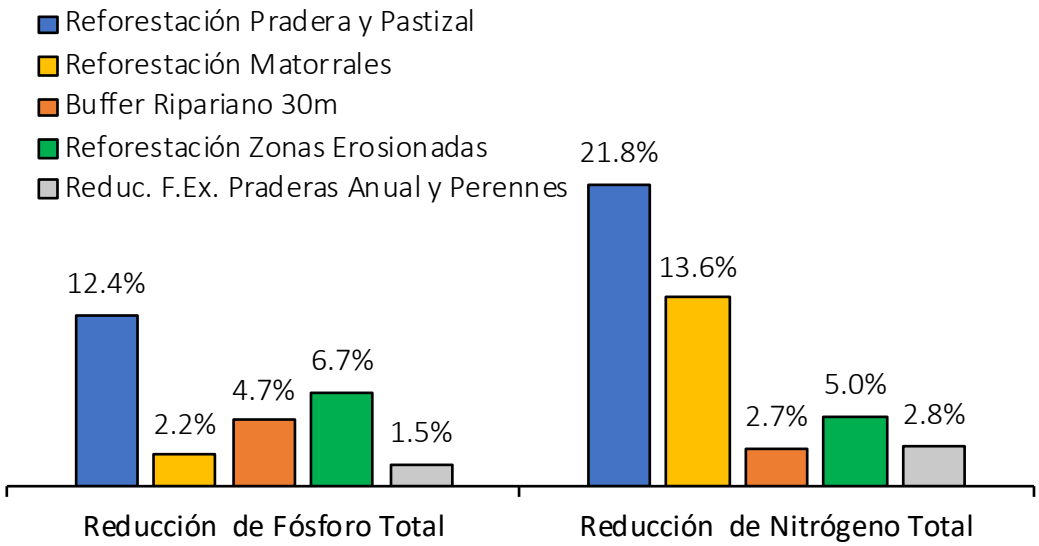


Figura 37. Reducción de emisiones aplicando reforestación de praderas, reforestación de matorrales, cambiando la cobertura de un buffer de 30m en la red de drenaje y reforestación de zonas erosionadas de todas las cuencas del Lago Villarrica por la cobertura Bosque Nativo de Hoja Ancha Renovable (cob-5).

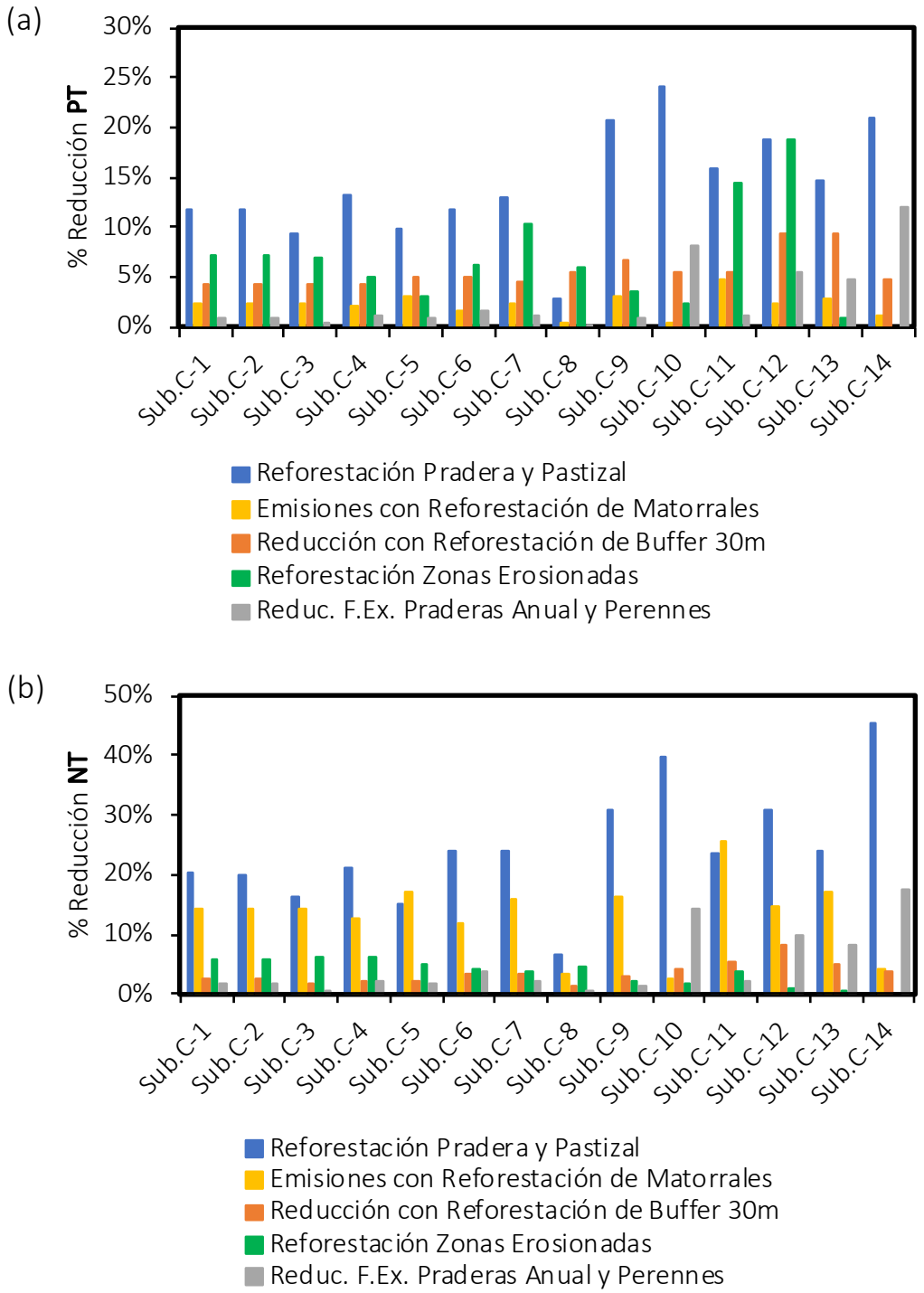


Figura 38. Comparación de medidas de reducción de emisiones para (a) Fósforo Total y (b) Nitrógeno Total.

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

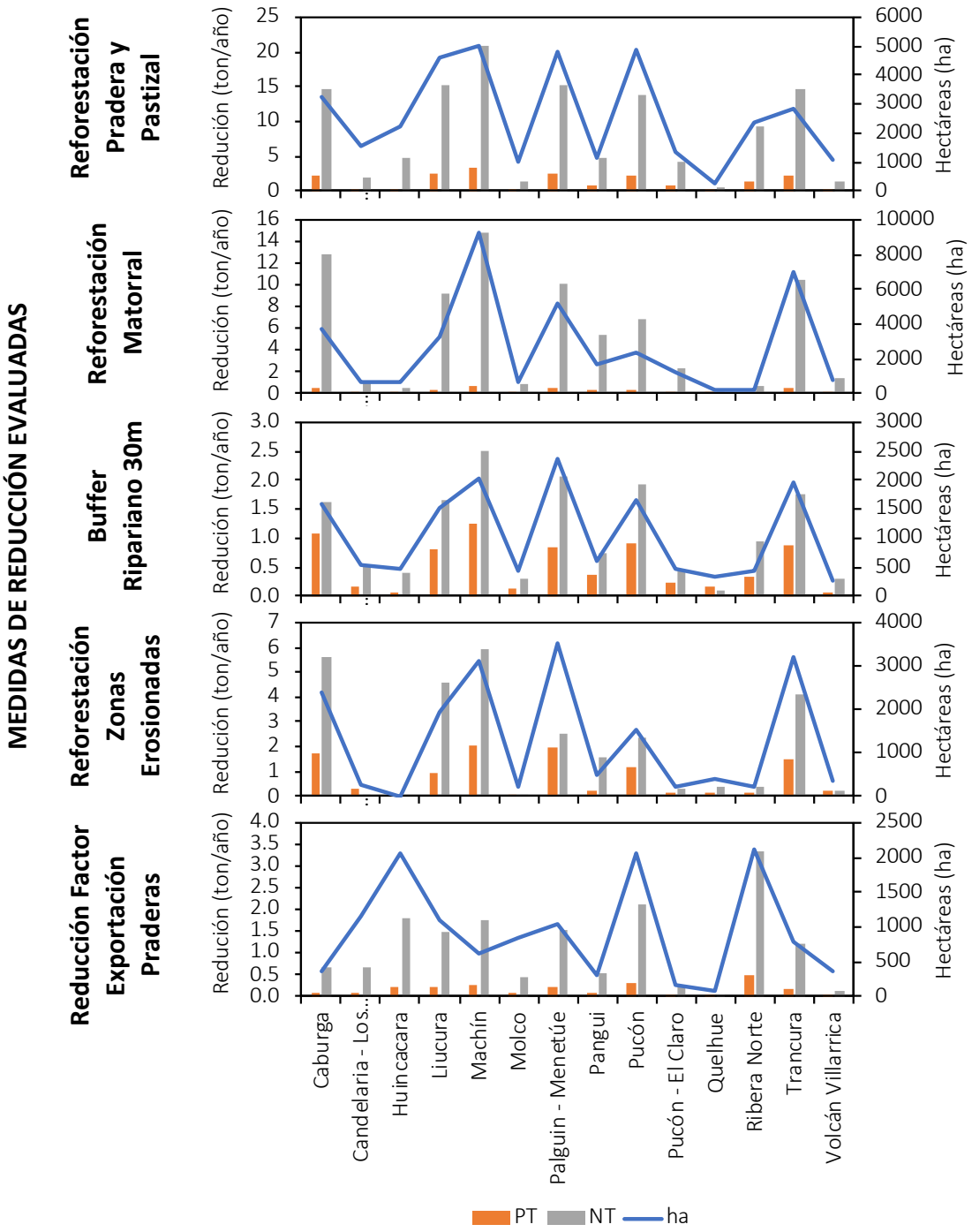


Figura 39. Comparación de medidas de reducción de emisiones, por medida y subcuencas, mostrando la cantidad de toneladas a reducir para PT y NT, y la cantidad de hectáteras a intervenir por medida.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 20. Comparación de cambio de la cobertura ripariana en un buffer de 30m con el modelo de transporte original de N-SPECT.

ID	Subcuenca	Modelación Original		Cambio de Cobertura en Buffer 30m		Diferencia	
		Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)
Sub.C-1	Maichin	28.57	103.97	27.31	101.45	1.26	2.52
Sub.C-2	Trancura	20.09	73.12	19.21	71.34	0.88	1.78
Sub.C-3	Caburgua	24.86	89.39	23.78	87.75	1.07	1.64
Sub.C-4	Liucura	18.53	72.27	17.72	70.63	0.80	1.64
Sub.C-5	Pangui	7.73	31.63	7.35	30.90	0.38	0.73
Sub.C-6	Pucón1	18.70	57.95	17.78	56.01	0.92	1.94
Sub.C-7	Palguin - Menetue	18.72	63.88	17.88	61.81	0.84	2.06
Sub.C-8	Quelhue	3.00	8.01	2.83	7.90	0.17	0.11
Sub.C-9	Pucón - El Claro	3.28	13.79	3.06	13.36	0.22	0.43
Sub.C-10	Ribera Norte	6.11	23.52	5.78	22.57	0.33	0.95
Sub.C-11	Volcan Villarrica	1.29	5.42	1.22	5.11	0.07	0.30
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	1.75	6.64	1.59	6.09	0.16	0.55
Sub.C-13	Molco	1.45	5.50	1.31	5.21	0.14	0.28
Sub.C-14	Huincacara	1.62	10.31	1.54	9.92	0.08	0.39
	Total	**155.69**	**565.39**	**148.36**	**550.05**	**7.33**	**15.34**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 21. Comparación de reforestación de praderas y pastizales con el modelo de transporte original de N-SPECT.

ID	Subcuenca	Modelación Original		Reforestación de Praderas y pastizales		Diferencia	
		Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)
Sub.C-1	Maichin	28.57	103.97	25.22	82.99	3.35	20.98
Sub.C-2	Trancura	20.09	73.12	17.74	58.38	2.35	14.74
Sub.C-3	Caburgua	24.86	89.39	22.52	74.76	2.34	14.63
Sub.C-4	Liucura	18.53	72.27	16.08	56.92	2.45	15.35
Sub.C-5	Pangui	7.73	31.63	6.97	26.84	0.77	4.79
Sub.C-6	Pucón1	18.70	57.95	16.48	44.00	2.23	13.95
Sub.C-7	Palguin - Menetue	18.72	63.88	16.27	48.51	2.45	15.37
Sub.C-8	Quelhue	3.00	8.01	2.91	7.47	0.09	0.54
Sub.C-9	Pucón - El Claro	3.28	13.79	2.60	9.55	0.68	4.24
Sub.C-10	Ribera Norte	6.11	23.52	4.63	14.21	1.48	9.31
Sub.C-11	Volcan Villarrica	1.29	5.42	1.08	4.13	0.21	1.28
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	1.75	6.64	1.42	4.58	0.33	2.06
Sub.C-13	Molco	1.45	5.50	1.24	4.17	0.21	1.33
Sub.C-14	Huincacara	1.62	10.31	1.28	5.61	0.34	4.70
	Total	**155.69**	**565.39**	**136.43**	**442.10**	**19.27**	**123.29**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 22. Comparación de reforestación de matorrales con el modelo de transporte original de N-SPECT.

ID	Subcuenca	Modelación Original		Reforestación de Matorrales		Diferencia	
		Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)
Sub.C-1	Maichin	28.57	103.97	27.91	89.09	0.66	14.88
Sub.C-2	Trancura	20.09	73.12	19.63	62.68	0.46	10.44
Sub.C-3	Caburgua	24.86	89.39	24.29	76.48	0.57	12.90
Sub.C-4	Liucura	18.53	72.27	18.11	62.99	0.41	9.29
Sub.C-5	Pangui	7.73	31.63	7.50	26.27	0.24	5.37
Sub.C-6	Pucón1	18.70	57.95	18.40	51.02	0.30	6.93
Sub.C-7	Palguin - Menetue	18.72	63.88	18.27	53.72	0.45	10.15
Sub.C-8	Quelhue	3.00	8.01	2.99	7.75	0.01	0.26
Sub.C-9	Pucón - El Claro	3.28	13.79	3.18	11.54	0.10	2.25
Sub.C-10	Ribera Norte	6.11	23.52	6.09	22.91	0.03	0.61
Sub.C-11	Volcan Villarrica	1.29	5.42	1.23	4.04	0.06	1.38
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	1.75	6.64	1.71	5.66	0.04	0.98
Sub.C-13	Molco	1.45	5.50	1.41	4.56	0.04	0.94
Sub.C-14	Huincacara	1.62	10.31	1.60	9.86	0.02	0.45
	Total	**155.69**	**565.39**	**152.30**	**488.55**	**3.39**	**76.84**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 23. Comparación de reforestación de zonas erosionadas con el modelo de transporte original de N-SPECT.

ID	Subcuenca	Modelación Original		Zonas Erosionadas		Diferencia	
		Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)
Sub.C-1	Maichin	28.57	103.97	26.48	98.05	2.09	5.91
Sub.C-2	Trancura	20.09	73.12	18.63	68.98	1.46	4.13
Sub.C-3	Caburgua	24.86	89.39	23.15	83.75	1.71	5.64
Sub.C-4	Liucura	18.53	72.27	17.62	67.66	0.91	4.61
Sub.C-5	Pangui	7.73	31.63	7.50	30.05	0.23	1.58
Sub.C-6	Pucón1	18.70	57.95	17.56	55.55	1.14	2.40
Sub.C-7	Palguin - Menetue	18.72	63.88	16.78	61.37	1.94	2.51
Sub.C-8	Quelhue	3.00	8.01	2.82	7.63	0.18	0.38
Sub.C-9	Pucón - El Claro	3.28	13.79	3.16	13.49	0.12	0.31
Sub.C-10	Ribera Norte	6.11	23.52	5.98	23.12	0.14	0.40
Sub.C-11	Volcan Villarrica	1.29	5.42	1.10	5.20	0.19	0.22
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	1.75	6.64	1.42	6.57	0.33	0.07
Sub.C-13	Molco	1.45	5.50	1.44	5.47	0.01	0.03
Sub.C-14	Huincacara	1.62	10.31	1.62	10.31	0.00	0.00
	Total	**155.69**	**565.39**	**145.25**	**537.21**	**10.44**	**28.18**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Tabla 24. Comparación de reducción de factor de exportación de praderas por buenas prácticas agrícolas con el modelo de transporte original de N-SPECT.

ID	Subcuenca	Modelación Original		Reducción Factor de Exportación Praderas		Diferencia	
		Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)	Fósforo (ton/año)	Nitrógeno (ton/año)
Sub.C-1	Maichin	28.57	103.97	28.31	102.23	0.26	1.74
Sub.C-2	Trancura	20.09	73.12	19.91	71.92	0.18	1.20
Sub.C-3	Caburgua	24.86	89.39	24.76	88.70	0.10	0.69
Sub.C-4	Liucura	18.53	72.27	18.30	70.78	0.22	1.49
Sub.C-5	Pangui	7.73	31.63	7.66	31.10	0.08	0.53
Sub.C-6	Pucón1	18.70	57.95	18.38	55.81	0.32	2.14
Sub.C-7	Palguin - Menetue	18.72	63.88	18.49	62.36	0.23	1.52
Sub.C-8	Quelhue	3.00	8.01	3.00	7.97	0.00	0.04
Sub.C-9	Pucón - El Claro	3.28	13.79	3.25	13.59	0.03	0.20
Sub.C-10	Ribera Norte	6.11	23.52	5.62	20.18	0.50	3.34
Sub.C-11	Volcan Villarrica	1.29	5.42	1.27	5.31	0.02	0.11
Sub.C-12	Candelaria - Los Chilcos	1.75	6.64	1.66	5.99	0.10	0.65
Sub.C-13	Molco	1.45	5.50	1.38	5.04	0.07	0.46
Sub.C-14	Huincacara	1.62	10.31	1.42	8.49	0.20	1.82
	Total	**155.69**	**565.39**	**153.39**	**549.46**	**2.30**	**15.93**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

5.3.3. Fichas de medidas de reducción.

En orden con las medidas evaluadas en la sección 5.1.1.10, se presentan las siguientes fichas de medidas propuestas.

Ficha 1. Reforestación de praderas y pastizales de la cuenca del Lago Villarrica

Nombre Medida	Cambio de uso de suelo		
Área (ha)	36405.27	Geografía (Subcuencas)	Reforestación de Praderas y Pastizales
Fuentes Emisoras Afectadas	Emisiones difusas naturales y antrópicas asociadas a usos de suelo.	Instrumento de Gestión Ambiental a aplicar	Programa de Arborización
Reducción de emisiones (%)	12.4% para PT y 21.8% para NT	Reducción de emisiones (Ton/año)	19.3 ton/año para PT y 123.3 ton/año para NT
Zonas Prioritarias	En función de la reducción de Fósforo Total, las zonas prioritarias son las siguientes Subcuencas: Caburga, Liucura, Machín, Palguin - Menetúe, Pucón, Ribera Norte y Trancura	Tiempo Estimado	Indeterminado
Servicios Involucrados	CONAF, INDAP	Método de Verificación	Informe anual enviado a Seremi del Medio Ambiente

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Ficha 2. Reforestación de zonas con la cobertura matorral en la cuenca del Lago Villarrica

Nombre Medida	Cambio de uso de suelo		
Área (ha)	36888.2	Geografía (Subcuencas)	Reforestación de matorral
Fuentes Emisoras Afectadas	Emisiones difusas naturales y antrópicas asociadas a usos de suelo.	Instrumento de Gestión Ambiental a aplicar	Programa de Arborización
Reducción de emisiones (%)	2.2% para PT y 13.6% para NT	Reducción de emisiones (Ton/año)	3.4 ton/año para PT y 76.8 ton/año para NT
Zonas Prioritarias	En función de la reducción de Fósforo Total, las zonas prioritarias son las siguientes Subcuencas: Caburga, Liucura, Machín, Palguin - Menetúe y Trancura	Tiempo Estimado	Indeterminado
Servicios Involucrados	CONAF, INDAP	Método de Verificación	Informe anual enviado a Seremi del Medio Ambiente

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Ficha 3. Reforestación de la zona buffer de 30m de la red de drenaje de la cuenca del Lago Villarrica

Nombre Medida	Forestación y reforestación ribereña con especies nativas.		
Área (ha)	14737.32	Geografía (Subcuencas)	Corresponde a un buffer de 30m de la red de drenaje de la cuenca del Lago Villarrica
Fuentes Emisoras Afectadas	Emisiones difusas naturales y antrópicas asociadas a usos de suelo.	Instrumento de Gestión Ambiental a aplicar	Programa de Arborización
Reducción de emisiones (%)	4.7% de PT y 2.7% de NT	Reducción de emisiones (Ton/año)	7.3 ton/año de PT y 15.3 ton/año de NT
Zonas Prioritarias	En función de la reducción de Fósforo Total, las zonas prioritarias son las siguientes Subcuencas: Caburga, Liucura, Machín, Palguin - Menetúe, Pucón, Trancura	Tiempo Estimado	Indeterminado
Servicios Involucrados	CONAF, INDAP	Método de Verificación	Informe anual enviado a Seremi del Medio Ambiente

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Ficha 4. Reforestación y recuperación de zonas erosionadas de la cuenca del Lago Villarrica.

Nombre Medida	Cambio de uso de suelo		
Área (ha)	17850.2	Geografía (Subcuencas)	Reforestación de zonas erosionadas
Fuentes Emisoras Afectadas	Emisiones difusas naturales y antrópicas asociadas a usos de suelo.	Instrumento de Gestión Ambiental a aplicar	Programa de Arborización
Reducción de emisiones (%)	6.7% para PT y 5.0% para NT	Reducción de emisiones (Ton/año)	10.4 ton/año para PT y 28.2 ton/año para NT
Zonas Prioritarias	En función de la reducción de Fósforo Total, las zonas prioritarias son las siguientes Subcuencas: Caburga, Liucura, Machín, Palguin - Menetúe, Pucón y Trancura	Tiempo Estimado	Indeterminado
Servicios Involucrados	CONAF, INDAP	Método de Verificación	Informe anual enviado a Seremi del Medio Ambiente

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Ficha 5. Evaluación en la reducción de aplicación de fertilizantes por medio de buenas prácticas agrícolas en la cuenca del Lago Villarrica.

Nombre Medida	Mejoramiento de prácticas agrícolas en la fertilización de suelos.		
Área (ha)	13119.48	Geografía (Subcuencas)	Reducción en un 30% del factor de exportación en praderas Anuales y Perennes asociado a buenas prácticas agrícolas.
Fuentes Emisoras Afectadas	Padreras, agricola - Exportación de nutrientes	Instrumento de Gestión Ambiental a aplicar	Programa de buenas prácticas agrícolas
Reducción de emisiones (%)	1.5% de PT y 2.8% de NT	Reducción de emisiones (Ton/año)	2.3 ton/año de PT y 15.9 ton/año de NT
Zonas Prioritarias	En función de la reducción de Fósforo Total, las zonas prioritarias son las siguientes Subcuencas: Ribera Norte, Maichin y Pucón	Tiempo Estimado	Indeterminado
Servicios Involucrados	Seremi de Agricultura, SAG, INDAP	Método de Verificación	Informe anual enviado a Seremi del Medio Ambiente

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

5.4. (OE4) Capacitación en el uso de WASP y NSPECT.

La capacitación comprometida en el proyecto, se realizó los días martes 07 y miércoles 08 de enero, en la cual participaron como asistentes 9 personas el primer día, y 6 el segundo. Cada jornada comprendía un total de 6 horas, 3 en la mañana de 09:00 a 12:00 horas, retomando las siguientes 3 horas de 15:00 a 18 horas (considerando tiempos de coffee break en cada jornada).

En base a los requerimientos del mandante, y en relación al objetivo de capacitación, se preparó el taller, considerando las siguientes temáticas:

Día 1 – WASP	Día 2 - NSPECT
Módulo Teórico Uso de WASP 8 Procesos de construcción de modelo. Modelos para nutrientes fósforo y nitrógeno para una subcuenca. Aportes de las fuentes puntuales. Estimación de cargas. Módulo Práctico Uso de la interfaz de la herramienta WASP 8 Dataset, System, Segmentos, Parámetros, Time Function, Flujo, Bordes, Constantes y Archivos de Salida.	Módulo Teórico Conceptos de funcionamiento de NSPECT. Bases de Datos con QGIS. Generación de capas. Estimaciones de Coeficientes. Aportes de fuentes difusas. Calibración de modelo. Módulo Práctico Uso de interfaz MapWindow con NSPECT y QGIS, para generación de capas y estimación de coeficientes y aportes de las fuentes difusas.

En un principio, los participantes indicaron que no tenían experiencia o cercanía en el uso de herramientas de modelación, pero posterior a la ejecución del taller, los asistentes indican que se logró entender la finalidad de la herramienta, comprender su aplicabilidad en casos reales, aportando en las competencias como profesionales.

El listado de asistentes y un registro fotográfico se presenta en el Anexo 7.

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

6. DISCUSIÓN FINAL

1. Del total de fuentes de emisión catastradas y evaluadas en el presente estudio, solo dos fuentes, en conjunto, representan el 93.5% de las emisiones de Fósforo Total y el 90.8% de las emisiones de Nitrógeno Total. Éstas son fuentes difusas (PT:55.8%, NT:42.0%) y Pisciculturas (PT:37.8%, NT:48.8%). Las diferencias entre las cifras presentadas en el presente estudio y el anterior MMA-UFRO (2019), se dan principalmente por la actualización de las bases de datos de lo reportado por los autocontroles de las propias pisciculturas en el Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA). Para ello se utilizó el archivo "Emisiones 2017-01_Act2019-11-01.xls" y es posible encontrarlo en el siguiente link: http://snifa.sma.gob.cl/v2/DatosAbiertos en la sección "RILES", la cual es información pública y disponible.

2. De las cuatro medidas de reducción evaluadas para fuentes de origen difuso, es la reforestación de praderas la que mayor impacto generaría con un 12% para Fósforo Total y un 21.8% para Nitrógeno Total.
   Es posible que esta medida presente dificultades de implementación dado que la reforestación de praderas involucraría la intervención de predios de carácter privado, donde el consentimiento de los titulares es esencial.
   Tal vez, una medida alternativa, y pensando mayoritariamente en las emisiones de Fósforo Total solamente, sea la reforestación y protección de un buffer de 30 metros en la red de drenaje de las subcuencas de mayor importancia, ya que entre estas dos medidas se lograría una reducción de un 11.4%, cercano al 12.4% de la reforestación de praderas.

3. Las subcuencas que se verían mayormente impactadas por la implementación de estas medidas, corresponden a Volcán Villarrica (Sub.C-11) y Candelaria - Los Chilcos (Sub.C-12).
   De ambas, es la subcuenca Candelaria - Los Chilcos (Sub.C-12) la que se presenta como la subcuenca más apta para una evaluación piloto en la implementación de medidas de reducción difusa evaluadas, por lo que se propone iniciar en esta subcuenca.

4. De 5 medidas evluadas, la reforestación de praderas y pastizales es la que mayor impacto tendría en la reducción de emisiones de PT y NT, pero la aplicación de esta medida requeire la intervención de unagran cantidad de hectáreas (Figura 35), sin embargo, desde un puno de vita más costo efectivo, la restauración o reforestación de una zona biffer de 30m en la red de drenaje de la cuenca, podría tener un efecto de menor impacto pero más viable al involucrar una menor cantidad de hectáreas a intervenir (ver Figura 39).

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

7. REFERENCIAS

Auchen, J. H., & Martínez, E. (2018). *Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural*.

Birch, G. F., Matthai, C., Fazeli, M. S., & Suh, J. Y. (2004). Efficiency of a constructed wetland in removing contaminants from stormwater. *Wetlands*, *24*(2), 459–466. https://doi.org/10.1672/0277-5212(2004)024[0459:EOACWI]2.0.CO;2

DGA, D. G. de A. (2009). Antecedentes para el análisis general de impacto económico y social de la norma secundaria del lago Villarrica. Retrieved from http://documentos.dga.cl/CQA5169.pdf

EcoHyd. (2016). Diagnóstico del estado de la vegetación ripariana de la cuenca del lago villarrica.

Gobierno Vasco. (2005). *Mapa de erosión de suelos de la Comunidad Autónoma de Euskadi*.

Heyvaert, A.C., Reuter, J.E., Chandra, S., Susfalk, R.B., Schaldow, S. G., & Hackley, S. H. (2013). *Lake Tahoe Nearshore Evaluation and Monitoring Framework. Final Report prepared for the USDA Forest Service Pacific Southwest Research Station*.

IDE CHILE. (2016). Infraestructura de Datos Geoespaciales 2016. Retrieved October 15, 2018, from http://www.ide.cl/descarga/capas/item/erosividad.html

IDE CHILE. (2017). Infraestructura de Datos Geoespaciales 2017. Retrieved October 15, 2018, from http://www.ide.cl/descarga/capas/item/erodabilidad.html

Janet F. Pawlak, M. L. and J. H. A. (2009). *Eutrophication in the Baltic Sea*. Katajanokanlaituri 6 B FI-00160 Helsinki Finland. Retrieved from http://www.helcom.fi

León-Muñoz, J., Tecklin, D., Farias, A., & Díaz, S. (2007). Salmon farming in the lakes of southern Chile–Valdivian ecoregion: history, tendencies and environmental impacts.

MMA-UACH. (2009). Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Villarrica.

MMA-UCT. (2012). Análisis de la Carga de Nutrientes de las principales subcuencas aportantes al Lago Villarrica.

MMA-UFRO. (2019a). *Informe Final "Determinación de las concentraciones de nutrientes en los principales afluentes al Lago Villarrica, estimación de su carga y propuesta de medidas para su reducción."*

MMA-UFRO, U. de L. F. (2018). INFORME FINAL DETERMINACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN, (56).

MMA-UFRO, U. de L. F. (2019b). INFORME FINAL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE, (56).

MMA-UFRO, U. de L. F. (2019c). *INFORME FINAL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE*.

MMA. (2011). Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) del Anteproyecto de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) Para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica., 75 p. Retrieved from http://www.sinia.cl/1292/articles-51209_Agies_lagovillarrica.pdf

Moore, I. A. N. D., & Burch, G. J. (1986). DIVISION S-6-SOIL AND WATER MANAGEMENT Physical Basis of the Length-slope Factor in the Universal Soil Loss Equation 1. *Soil Science Society of America Journal*, *50*(5), 1294–1298. https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000050042x

Nieto, D., Norambuena, R., González, E., González, L., Moreno, E. P., Programa, C., … Carrillo, D. (2010). *Sistemas de Producción de Smolts en Chile, Análisis de alternativas desde la perspectiva ambiental, sanitaria y económica.*

Olson, K., Chard, B. I., Malchow, D., & Hickman, D. (2001). *Small Community Wastewater Solutions: A Guide to Making Treatment, Management and Financing Decisions*.

Reyes Garcés, O. A., & Álvaro, S. S. (2013). *Estimación de la erodabilidad de un suelo mezclado con Biosólidos.* UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO. Retrieved from http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/397/1/Reyes_Garces_Osvaldo_Alejandro.pdf

Rhode Island. Department of Environmental, & Resources, O. of W. M. (2019). *Rhode Island Nonpoint Source Management Plan*.

Ríos, O. V., Triana, J. E. D., Bejarano, S. P. R., & Ruiz, P. A. G. (2012). *GUÍAS TÉCNICAS PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE LOS ECOSISTEMAS DE COLOMBIA*. Bogotá, Colombia.

Silva Jaque, C. (2010). AGRICULTURA LIMPIA Y LA NECESIDAD DEL USO RACIONAL DE LOS FERTILIZANTES. *Idesia (Arica)*, *28*(1), 5–7. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000100001

SustainAqua. (2009). *Manual de Acuicultura sostenible*. Retrieved from www.sustainaqua.org

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

ANEXOS

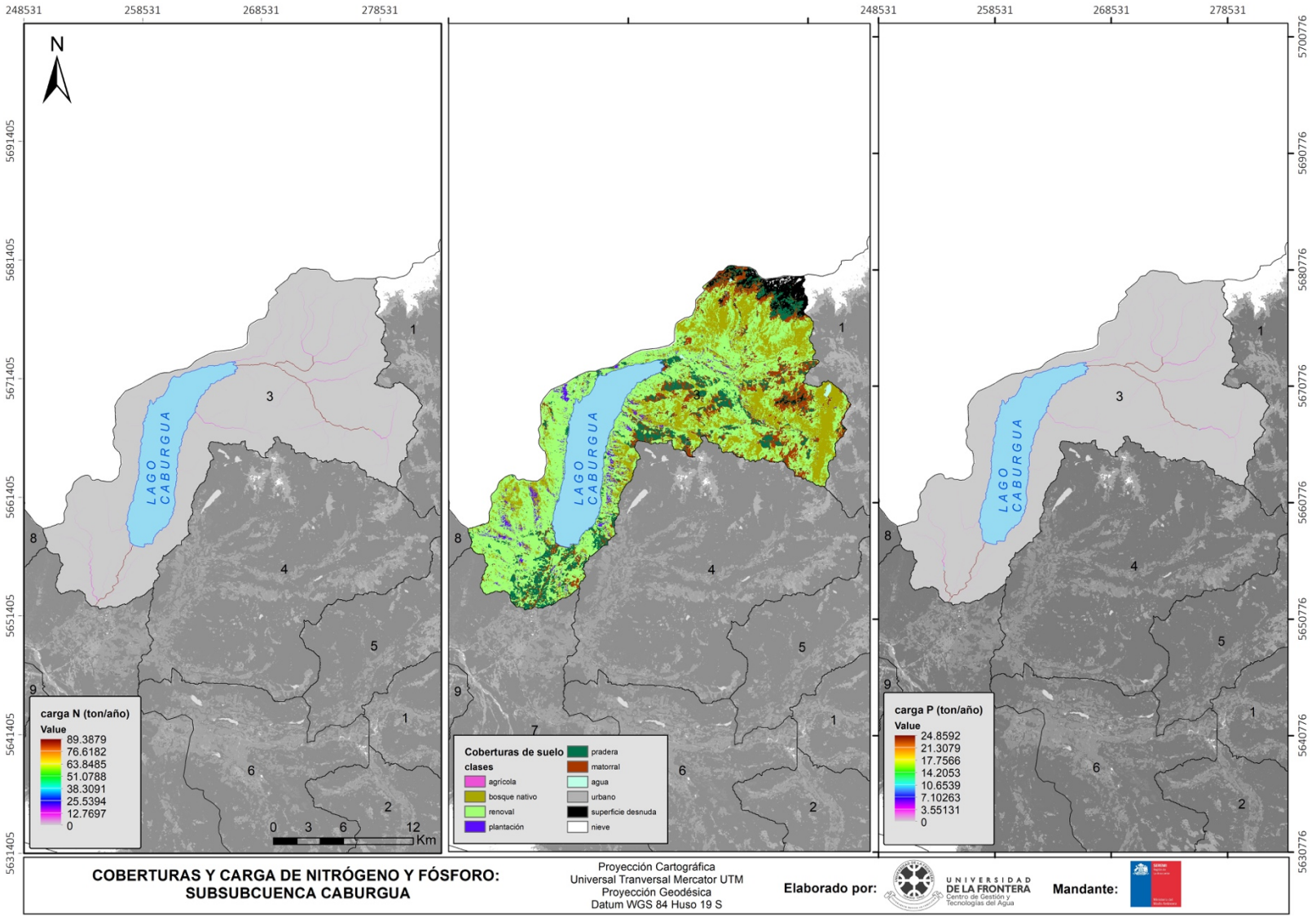
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

8. ANEXO 1: Carga de Nitrógeno y Fósforo Total calculada por N-SPECT

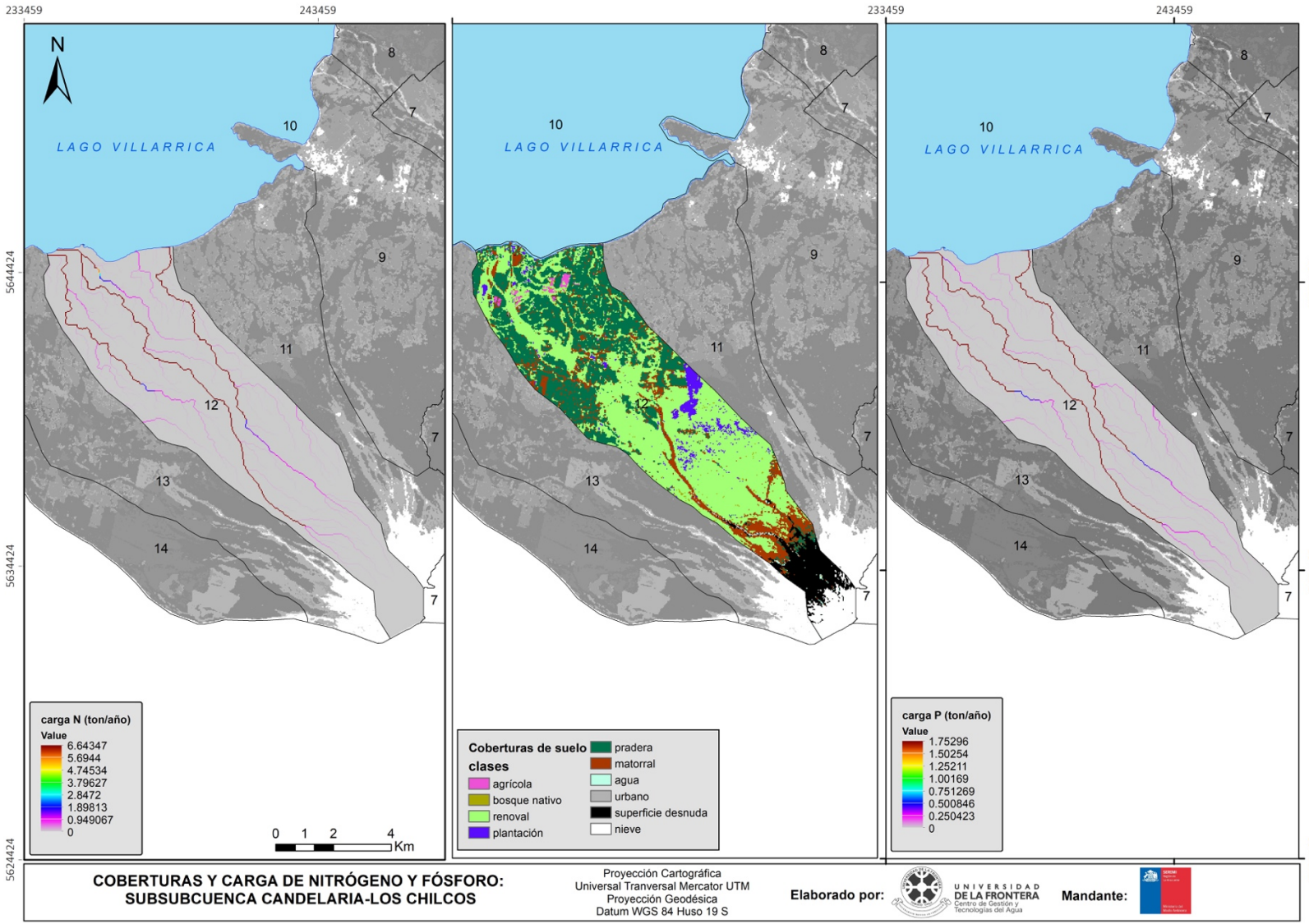
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



COBERTURAS Y CARGA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO: SUBSUBCUENCA CANDELARIA-LOS CHILCOS

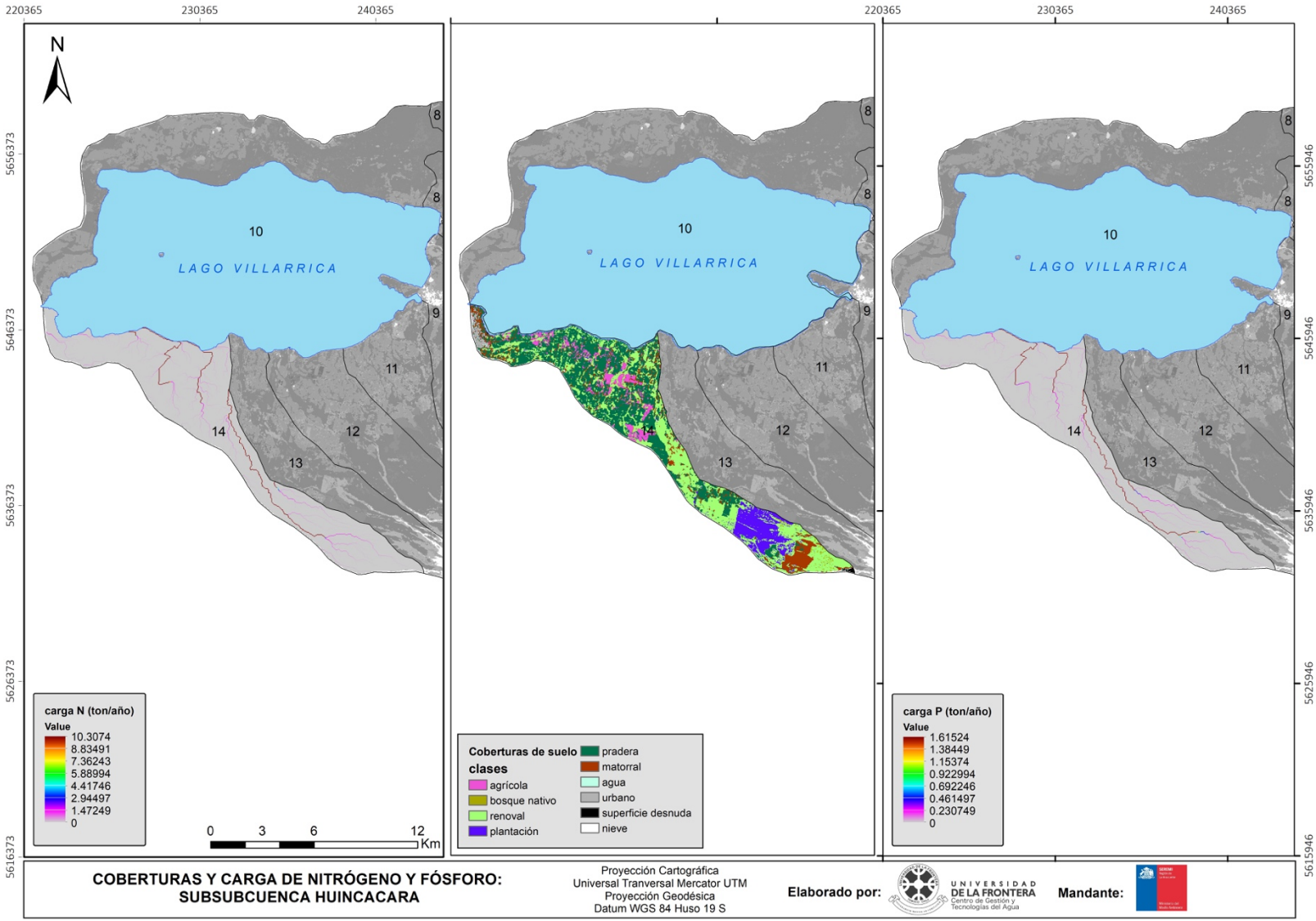
Proyección Cartográfica
Universal Tranversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

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

Mandante:

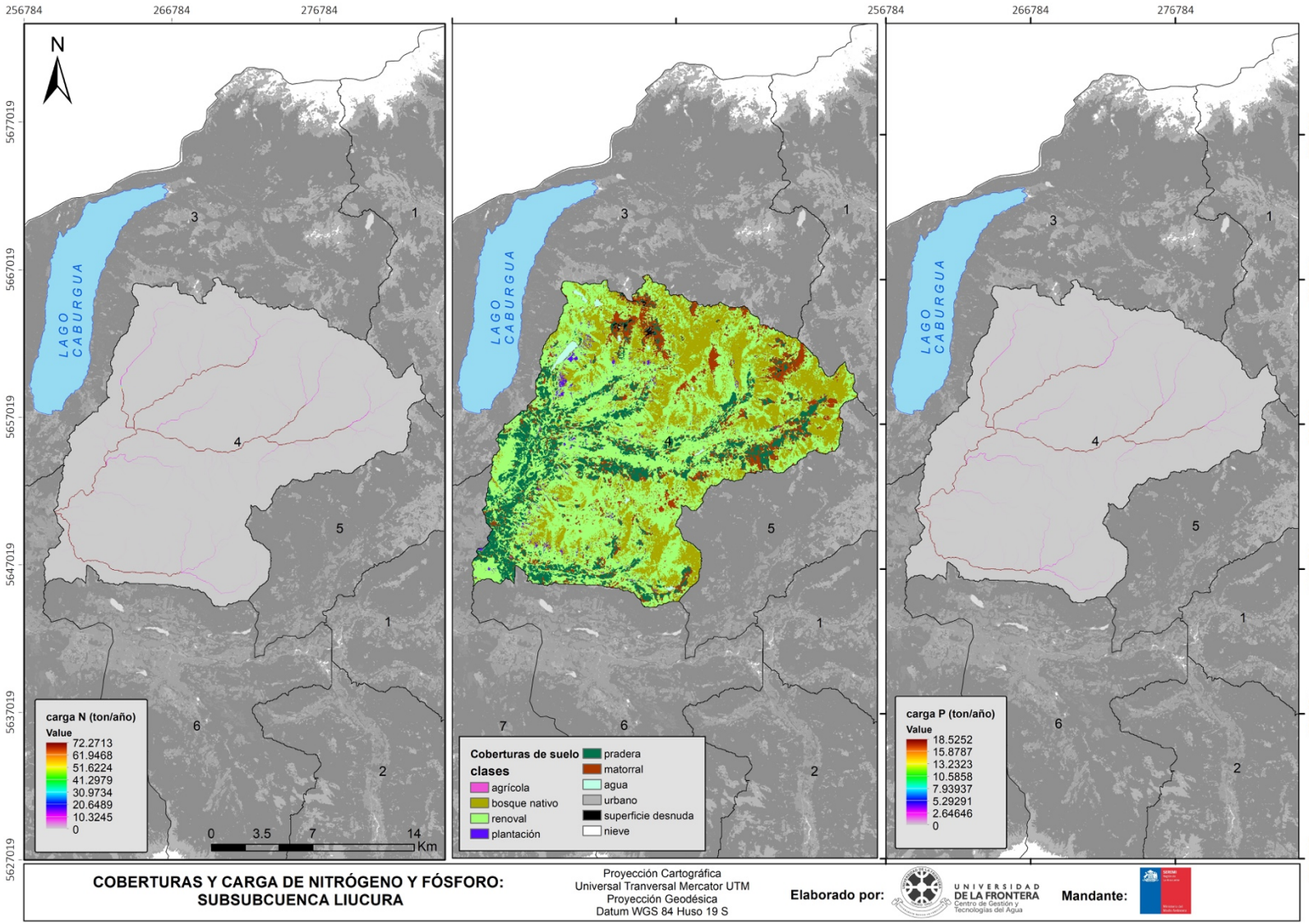
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



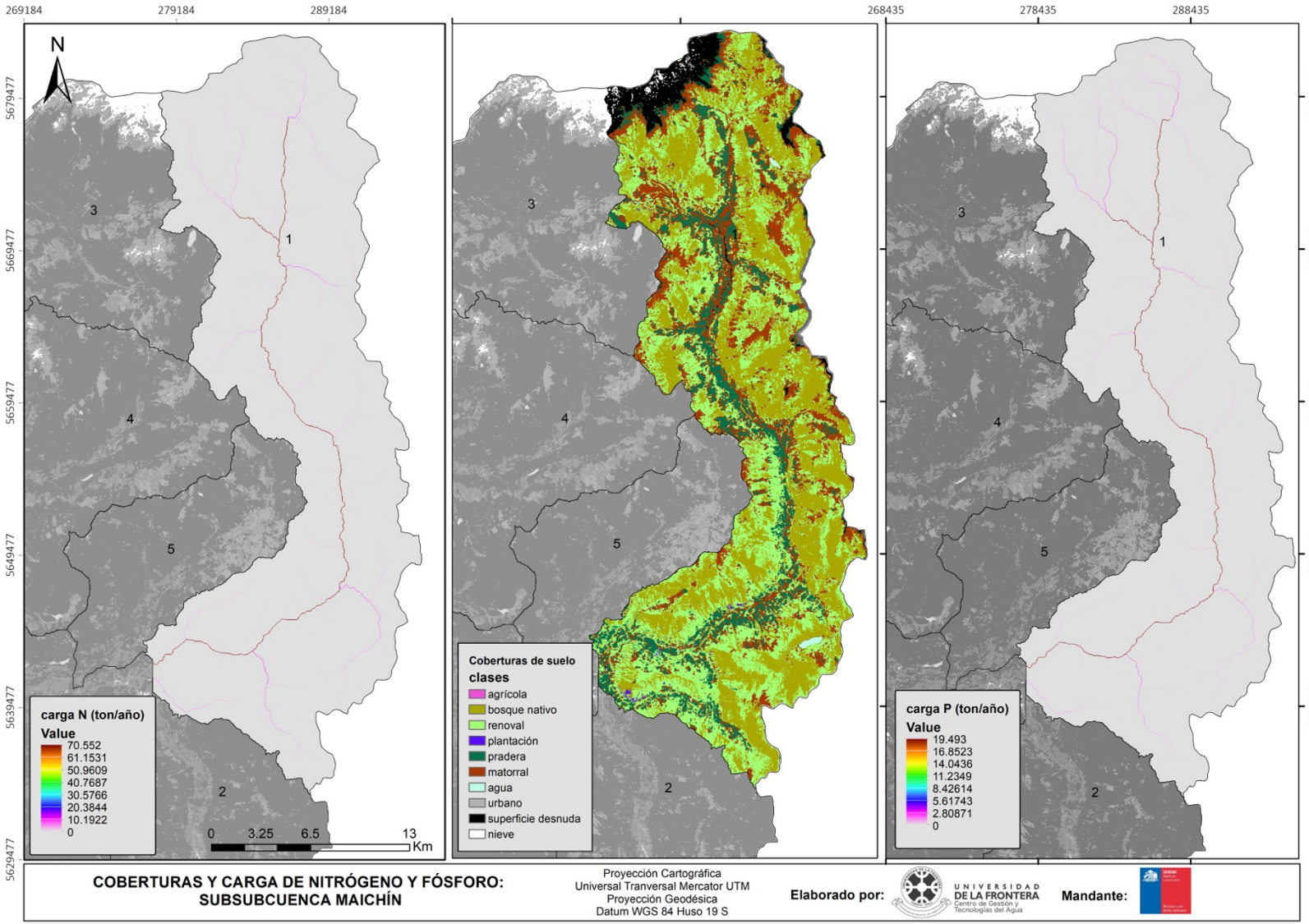
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



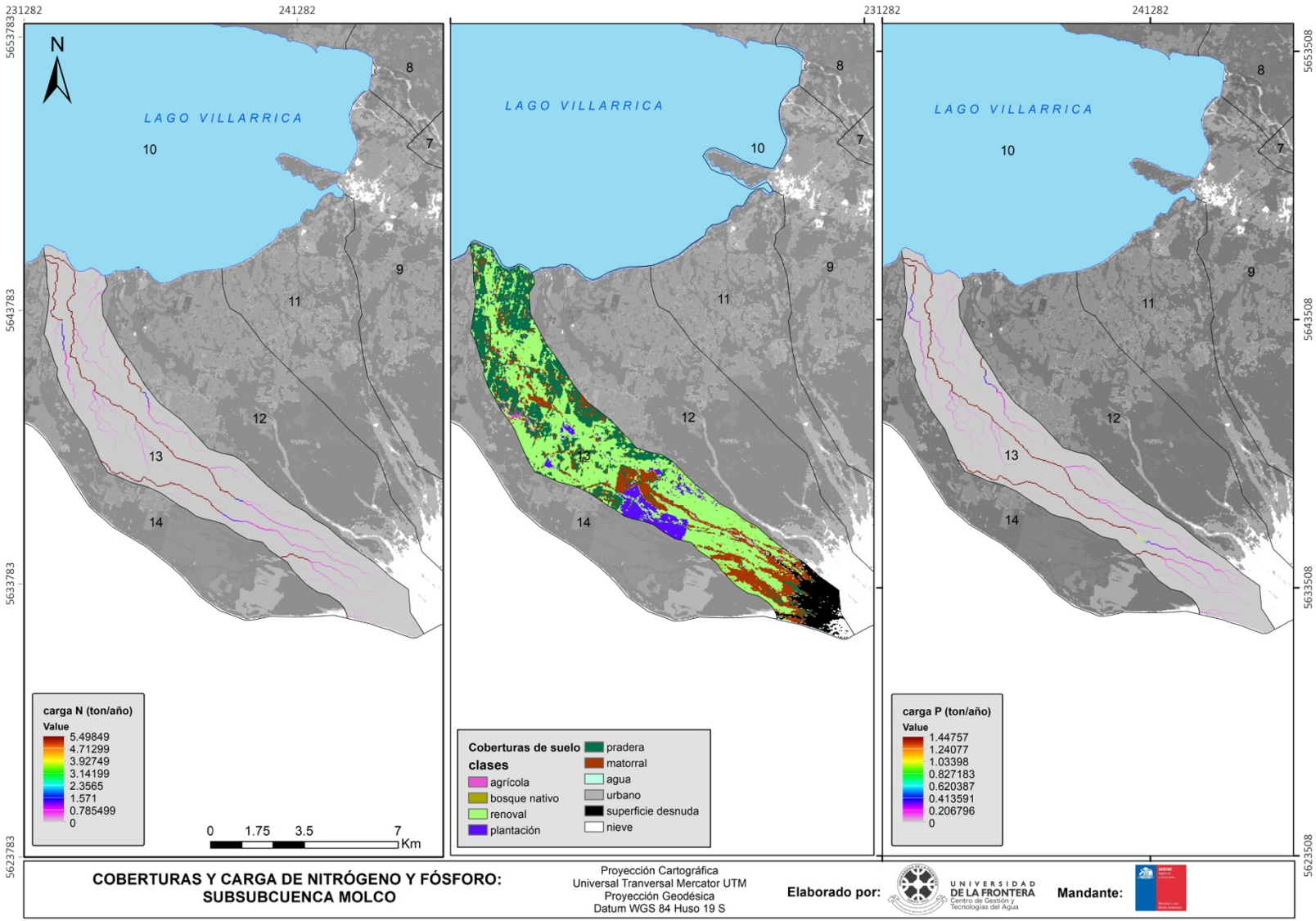
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



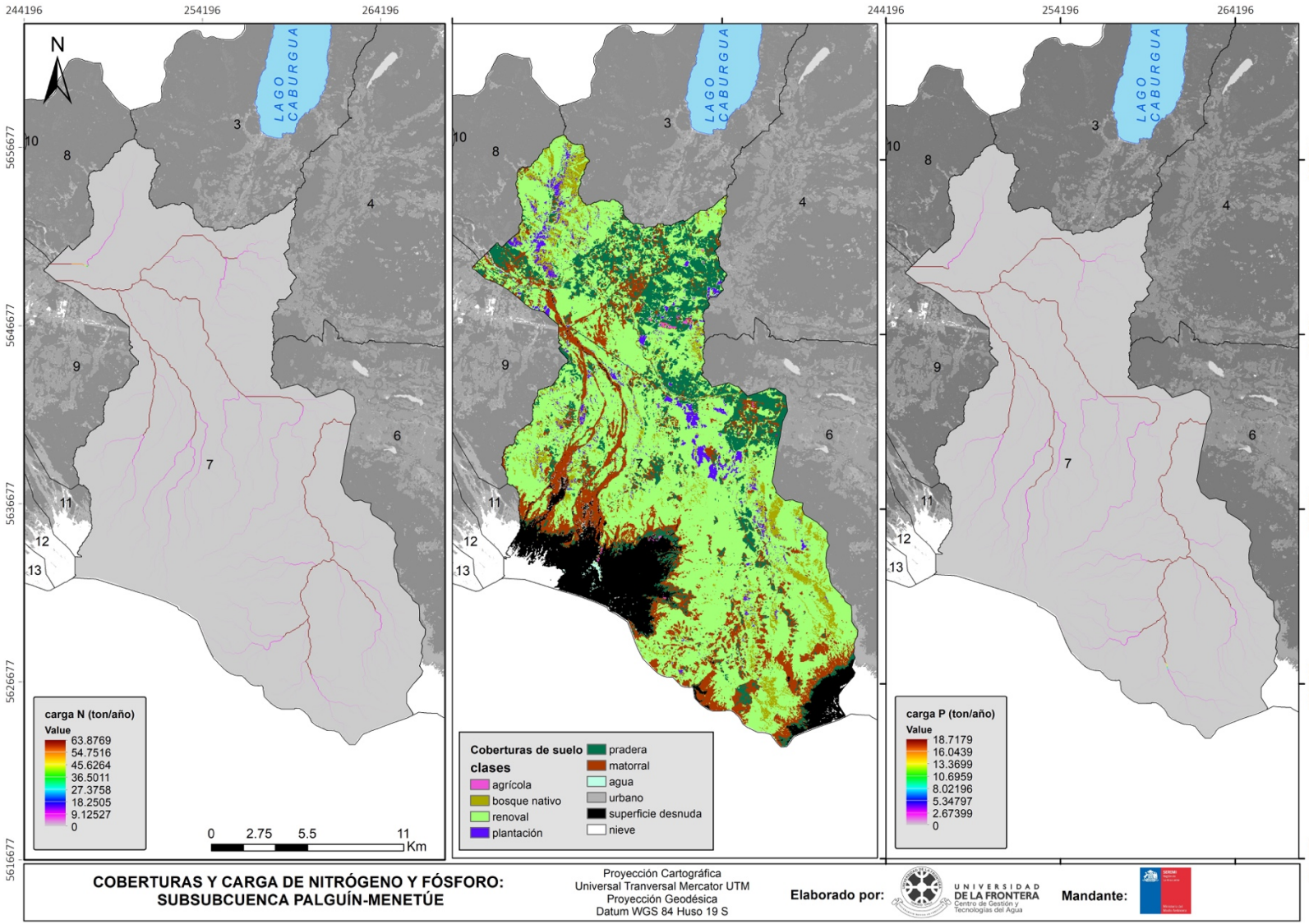
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



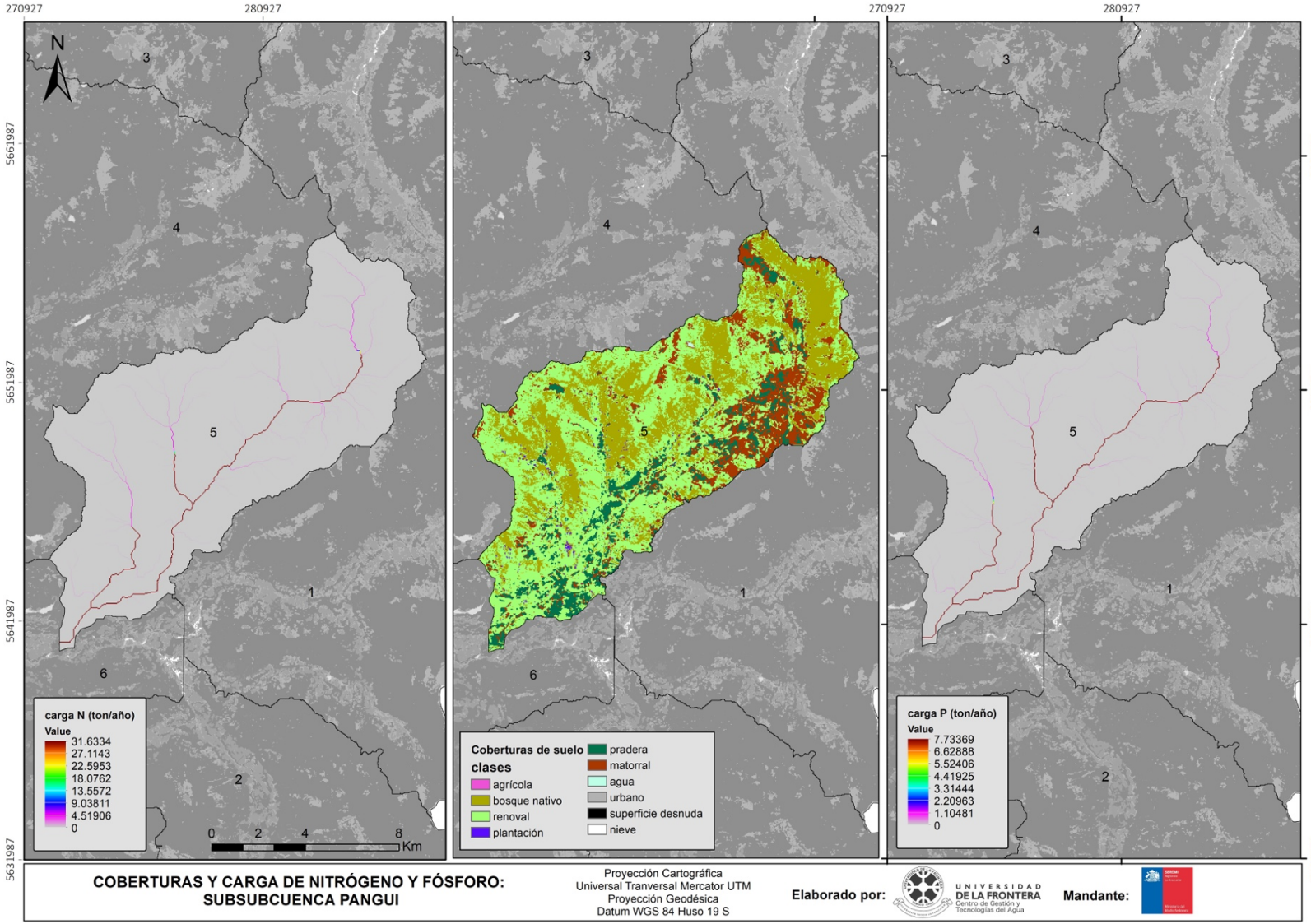
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



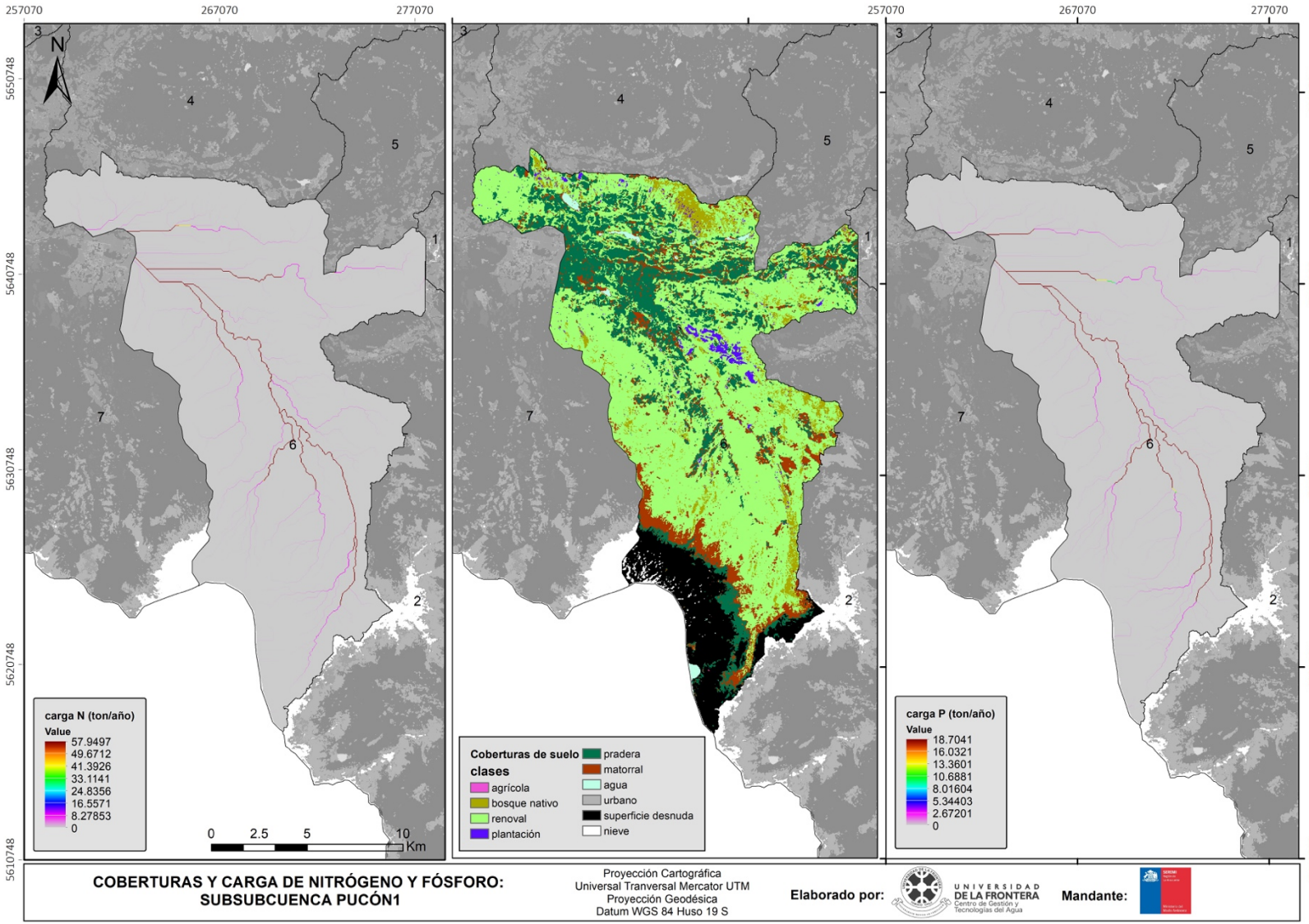
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



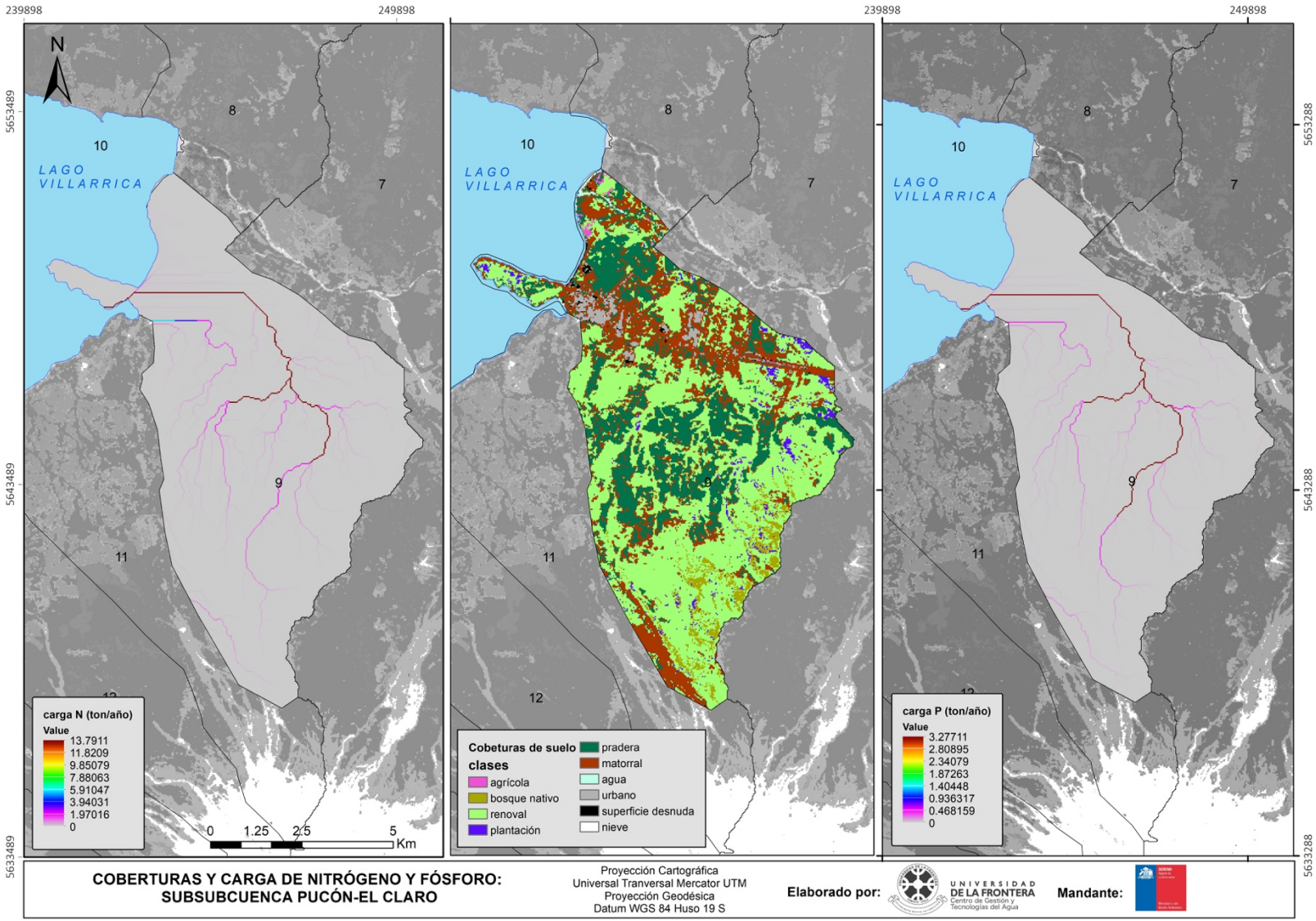
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



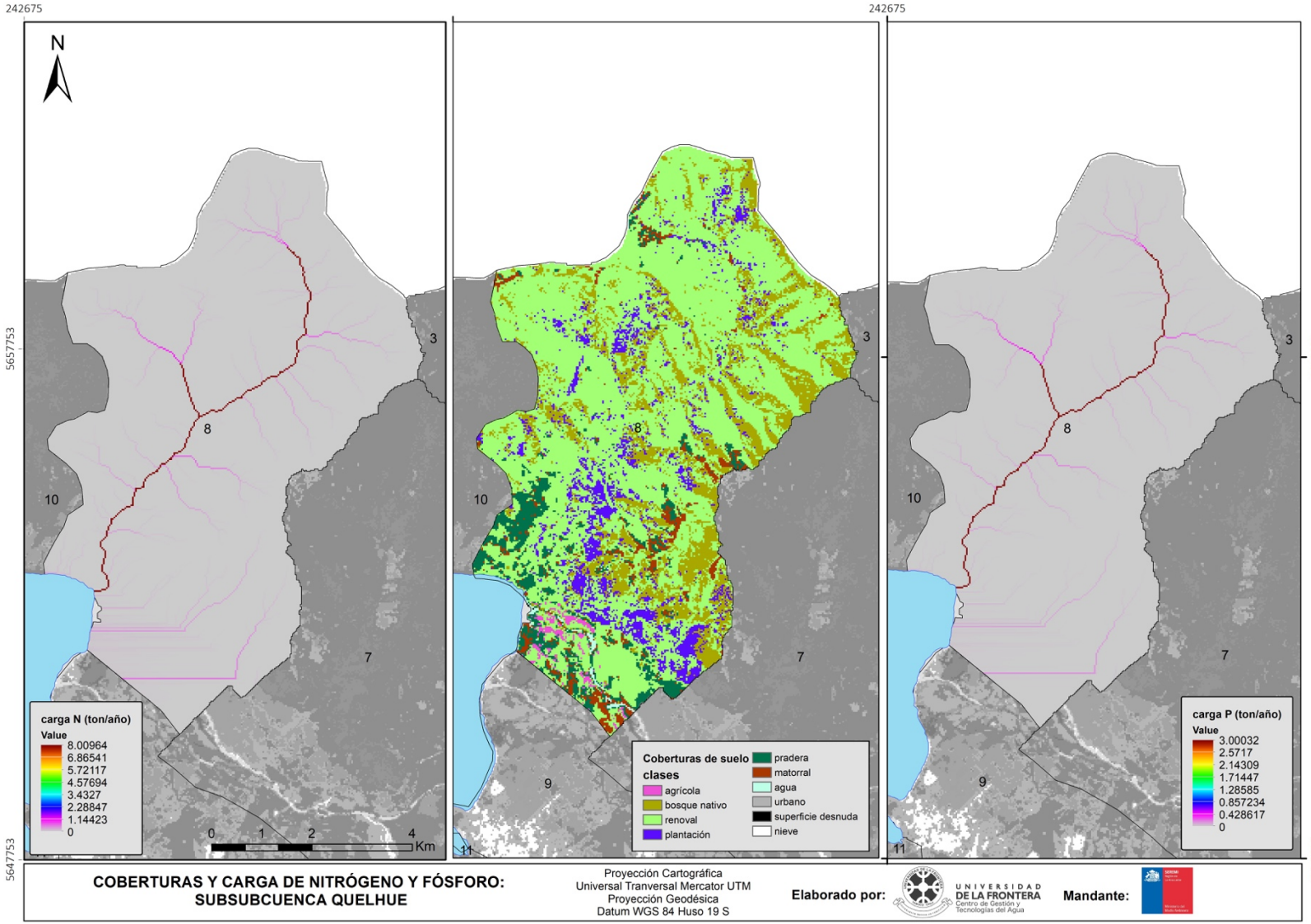
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



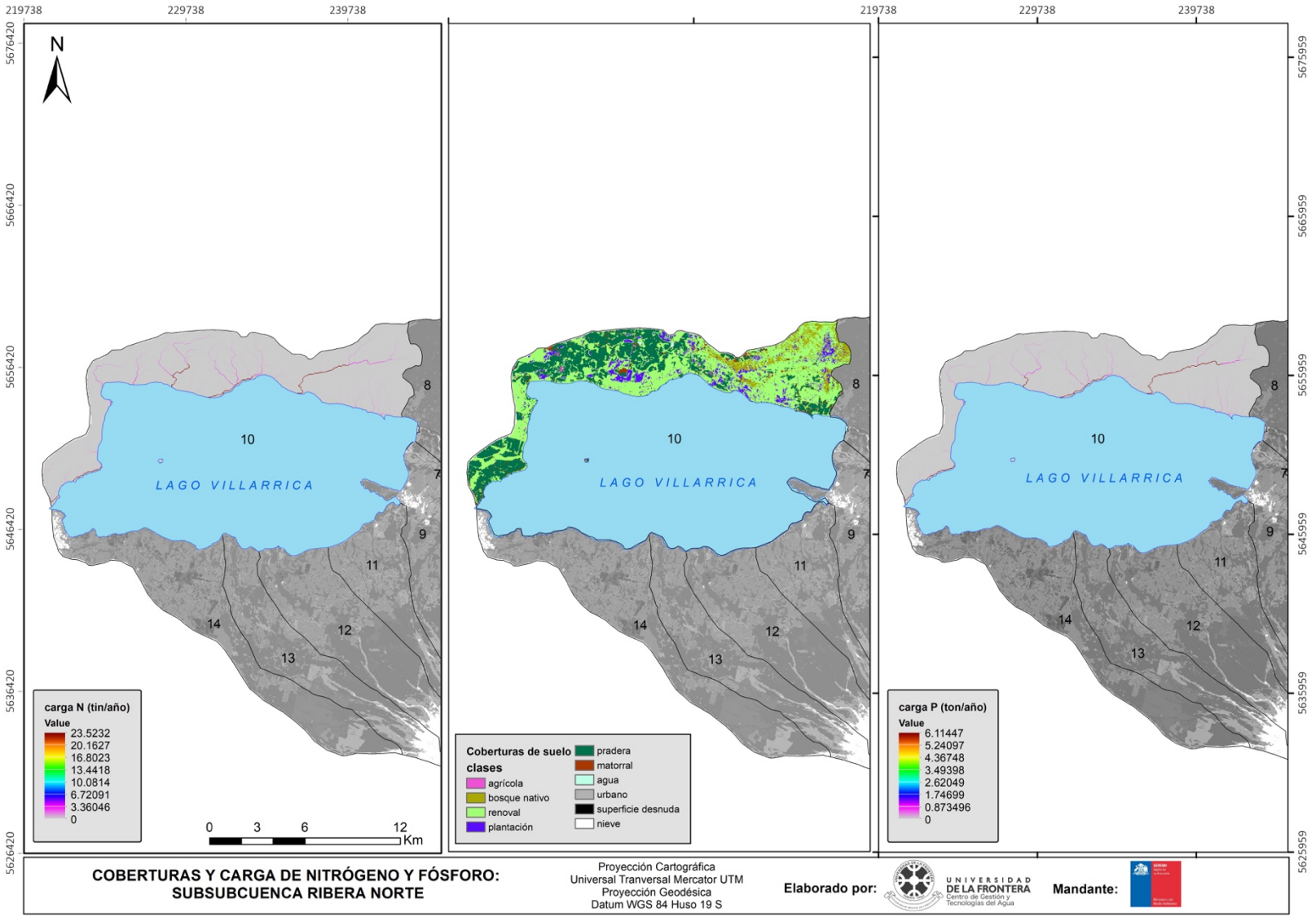
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



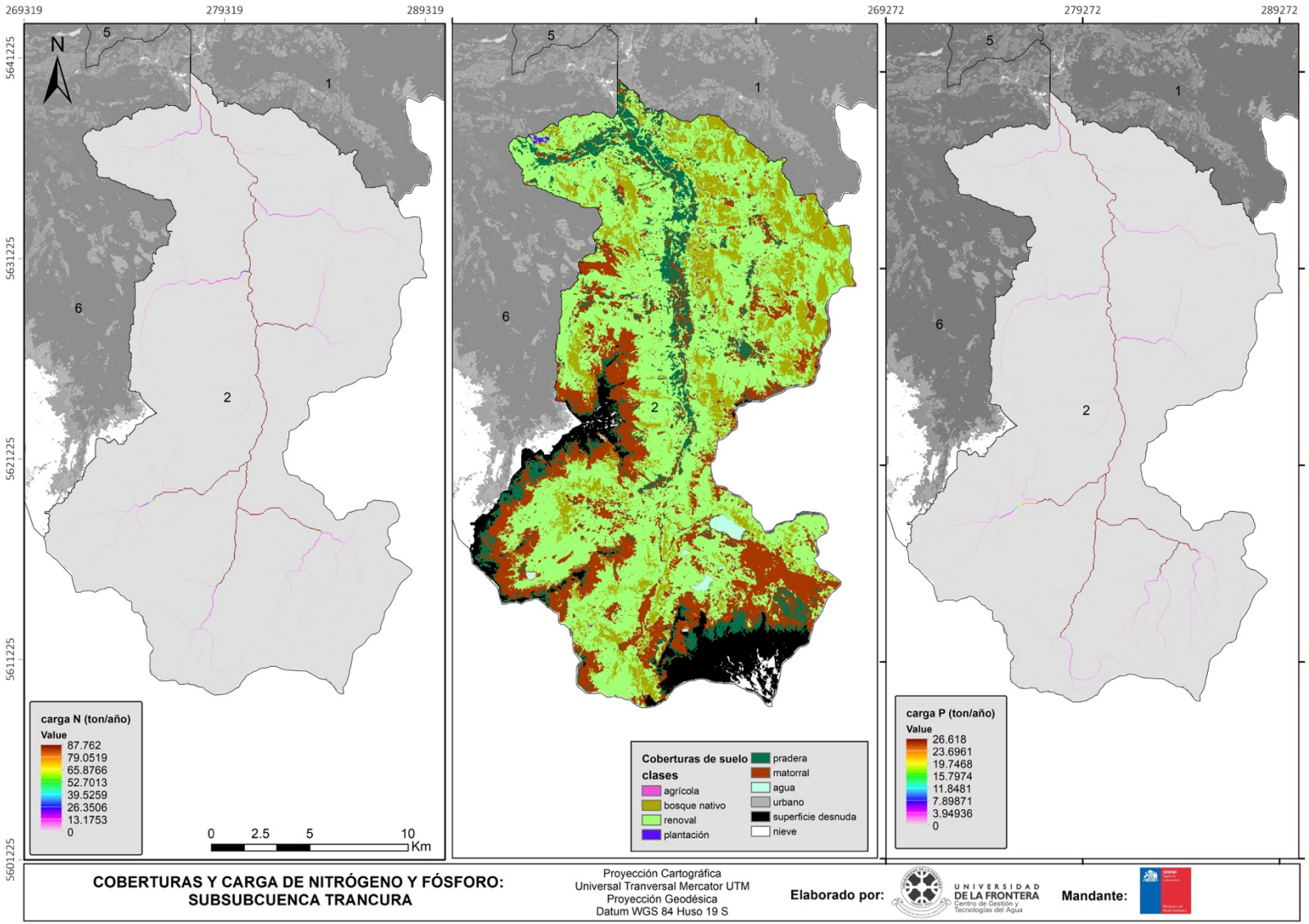
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



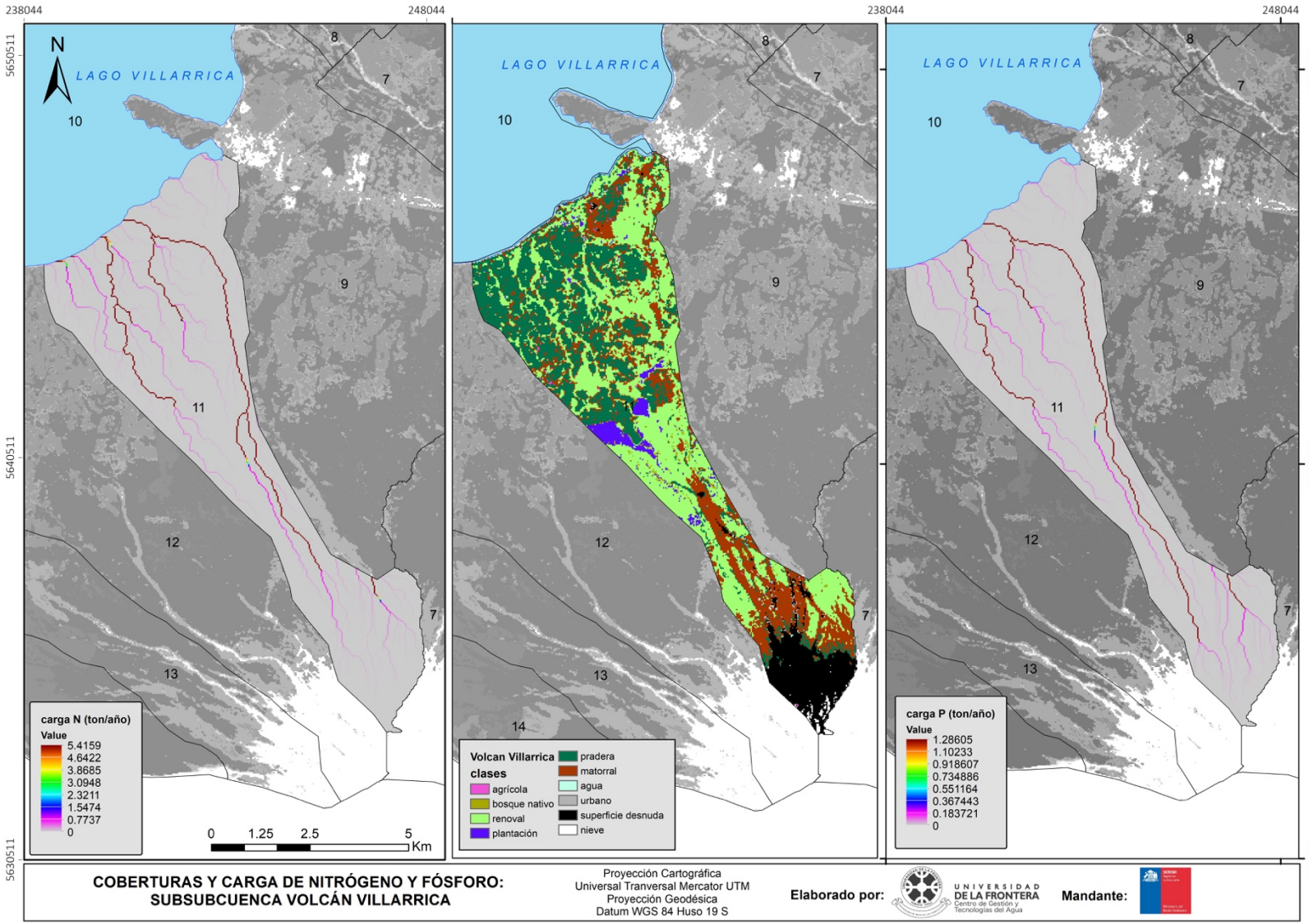
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

9. ANEXO 2: Carga por cobertura y sub-sub-cuencas

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Caburgua						Candelaria - Los Chilcos					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos							32.94	0.60%	0.31	0.02	1.63%	0.49%
Cob-2	Huertos							0.27	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-3	Barbechos	4.23	0.01%	0.04	0.00	0.05%	0.01%	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	7055.1	18.73%	12.94	1.60	14.03%	6.21%	17.19	0.32%	0.03	0.00	0.15%	0.08%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	16796.07	44.60%	33.11	16.79	35.92%	65.25%	2518.11	46.19%	4.69	2.38	24.71%	49.30%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables	0.36	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	82.53	0.22%	0.26	0.07	0.28%	0.27%	19.44	0.36%	0.06	0.02	0.30%	0.32%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	758.97	2.02%	2.30	0.62	2.50%	2.40%	142.38	2.61%	0.41	0.11	2.18%	2.30%
Cob-9	Praderas Anuales	371.16	0.99%	2.38	0.36	2.58%	1.38%	1165.95	21.39%	7.18	1.07	37.84%	22.29%
Cob-10	Praderas Perennes							0.27	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.01%
Cob-11	Otros Pastizales	2870.01	7.62%	18.61	2.79	20.19%	10.83%	388.62	7.13%	2.37	0.35	12.50%	7.36%
Cob-12	Pastizales Áridos	0.81	0.00%	0.01	0.00	0.01%	0.00%	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.01%
Cob-13	Matorrales	3711.15	9.85%	20.03	1.42	21.73%	5.53%	597.42	10.96%	3.09	0.22	16.31%	4.55%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	5.67	0.02%	0.03	0.00	0.03%	0.01%	13.5	0.25%	0.07	0.00	0.35%	0.10%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos												
Cob-16	Superficie Impermeables	29.25	0.08%	0.07	0.06	0.08%	0.23%	7.56	0.14%	0.02	0.02	0.10%	0.32%
Cob-17	Suelos Arenoso	5.13	0.01%	0.01	0.01	0.01%	0.02%	0.18	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	553.41	1.47%	1.38	1.16	1.49%	4.52%	31.59	0.58%	0.08	0.07	0.41%	1.36%
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	435.15	1.16%	1.02	0.86	1.11%	3.34%	283.95	5.21%	0.66	0.55	3.47%	11.51%
Total		**32679**	**87%**	**92.18**	**25.73**	**100%**	**100%**	**5220**	**96%**	**18.96**	**4.82**	**100%**	**100%**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Huincacara						Liucura					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos	373.68	6.20%	3.36	0.26	13.16%	5.21%	1.98	0.01%	0.02	0.00	0%	0%
Cob-2	Huertos	1.53	0.03%	0.01	0.00	0.06%	0.02%						
Cob-3	Barbechos	9.45	0.16%	0.09	0.01	0.34%	0.14%	0.9	0.00%	0.01	0.00	0%	0%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	36.99	0.61%	0.06	0.01	0.24%	0.15%	8010.54	23.65%	13.86	1.71	15%	7%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	2018.79	33.48%	3.67	1.86	14.37%	37.41%	17350.65	51.23%	32.21	16.33	35%	69%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%						
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	18.63	0.31%	0.05	0.01	0.21%	0.29%	75.6	0.22%	0.22	0.06	0%	0%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	534.6	8.87%	1.56	0.42	6.10%	8.39%	289.44	0.85%	0.84	0.22	1%	1%
Cob-9	Praderas Anuales	2062.53	34.20%	12.39	1.85	48.53%	37.30%	1111.86	3.28%	6.71	1.00	7%	4%
Cob-10	Praderas Perennes	0.54	0.01%	0.00	0.00	0.01%	0.01%						
Cob-11	Otros Pastizales	181.44	3.01%	1.09	0.16	4.27%	3.29%	3505.32	10.35%	21.32	3.19	23%	13%
Cob-12	Pastizales Áridos	0.54	0.01%	0.00	0.00	0.01%	0.01%	0.45	0.00%	0.00	0.00	0%	0%
Cob-13	Matorrales	611.01	10.13%	2.99	0.21	11.70%	4.26%	3269.79	9.65%	16.70	1.18	18%	5%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	9.63	0.16%	0.05	0.00	0.19%	0.07%	2.88	0.01%	0.01	0.00	0%	0%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos												
Cob-16	Superficie Impermeables	75.42	1.25%	0.17	0.15	0.68%	2.97%	8.46	0.02%	0.02	0.02	0%	0%
Cob-17	Suelos Arenoso	1.35	0.02%	0.00	0.00	0.01%	0.03%	0.27	0.00%	0.00	0.00	0%	0%
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.01%	42.39	0.13%	0.10	0.08	0%	0%
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	11.43	0.19%	0.03	0.02	0.10%	0.44%	7.2	0.02%	0.02	0.01	0%	0%
	Total	5947.92	98.64%	25.54	4.97	100.00%	100.00%	33677.73	99.44%	92.04	23.82	100%	100%

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Maichin						Molco					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	18.81	0.43%	0.17	0.01	1.14%	0.35%
Cob-2	Huertos	0	0.00%	0.00				0.36	0.01%	0.00	0.00	0.02%	0.01%
Cob-3	Barbechos	0.99	0.00%	0.01	0.00	0.01%	0.00%	1.08	0.02%	0.01	0.00	0.07%	0.02%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	16449.48	32.89%	29.03	3.59	19.93%	11.25%	18.18	0.42%	0.03	0.00	0.20%	0.10%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	16855.47	33.70%	32.12	16.28	22.05%	51.06%	2032.29	46.60%	3.76	1.90	24.98%	49.90%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables												
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	33.03	0.07%	0.10	0.03	0.07%	0.08%	14.67	0.34%	0.04	0.01	0.29%	0.31%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	71.37	0.14%	0.21	0.06	0.15%	0.18%	216.09	4.96%	0.62	0.17	4.13%	4.37%
Cob-9	Praderas Anuales	622.26	1.24%	3.84	0.58	2.64%	1.80%	841.68	19.30%	5.22	0.78	34.71%	20.47%
Cob-10	Praderas Perennes												
Cob-11	Otros Pastizales	4375.98	8.75%	27.41	4.10	18.82%	12.87%	140.49	3.22%	0.87	0.13	5.79%	3.41%
Cob-12	Pastizales Áridos	1.08	0.00%	0.01	0.00	0.00%	0.00%	2.25	0.05%	0.01	0.00	0.09%	0.05%
Cob-13	Matorrales	9293.85	18.58%	48.37	3.43	33.21%	10.76%	699.93	16.05%	3.59	0.25	23.88%	6.68%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	2.07	0.00%	0.01	0.00	0.01%	0.00%	12.6	0.29%	0.06	0.00	0.42%	0.12%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%						
Cob-16	Superficie Impermeables	12.15	0.02%	0.03	0.02	0.02%	0.08%	11.79	0.27%	0.03	0.02	0.19%	0.62%
Cob-17	Suelos Arenoso	3.33	0.01%	0.00	0.00	0.00%	0.01%						
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	889.11	1.78%	2.18	1.84	1.50%	5.78%	34.2	0.78%	0.08	0.07	0.56%	1.86%
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	1004.76	2.01%	2.31	1.95	1.59%	6.12%	229.14	5.25%	0.53	0.45	3.53%	11.74%
	Total	**49615.11**	**99.19%**	**145.64**	**31.88**	**100.00%**	**100.00%**	**4273.56**	**98.00%**	**15.04**	**3.82**	**100.00%**	**100.00%**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Palguin - Menetue						Pangui					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos	21.33	0.06%	0.19	0.01	0.17%	0.04%						
Cob-2	Huertos	0.45	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%						
Cob-3	Barbechos	24.48	0.07%	0.24	0.02	0.21%	0.05%						
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	1929.24	5.22%	3.51	0.43	3.13%	1.25%	3734.1	29.87%	6.29	0.78	19.44%	9.81%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	20026.8	54.17%	39.17	19.85	34.91%	57.40%	5916.06	47.32%	10.85	5.50	33.53%	69.42%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables	1.8	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	0	0.00%				
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	59.22	0.16%	0.18	0.05	0.16%	0.14%	24.57	0.20%	0.07	0.02	0.22%	0.24%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	959.13	2.59%	2.87	0.77	2.56%	2.22%	29.79	0.24%	0.09	0.02	0.27%	0.29%
Cob-9	Praderas Anuales	1052.1	2.85%	6.38	0.96	5.69%	2.76%	305.46	2.44%	1.86	0.28	5.75%	3.51%
Cob-10	Praderas Perennes							0	0.00%				
Cob-11	Otros Pastizales	3753.81	10.15%	23.27	3.48	20.75%	10.07%	815.22	6.52%	4.93	0.74	15.25%	9.32%
Cob-12	Pastizales Áridos	3.06	0.01%	0.02	0.00	0.02%	0.01%	0	0.00%				
Cob-13	Matorrales	5148.54	13.93%	27.89	1.98	24.86%	5.72%	1670.85	13.37%	8.25	0.59	25.52%	7.39%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	25.92	0.07%	0.14	0.01	0.12%	0.03%	0.63	0.01%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos							0	0.00%				
Cob-16	Superficie Impermeables	52.02	0.14%	0.13	0.11	0.12%	0.32%						
Cob-17	Suelos Arenoso	1.71	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.01%						
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	212.49	0.57%	0.54	0.46	0.49%	1.33%						
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	3147.03	8.51%	7.64	6.45	6.81%	18.65%						
Total		**36419.13**	**98.52%**	**112.17**	**34.59**	**100.0%**	**100.0%**	**12496.68**	**99.96%**	**32.34**	**7.92**	**100.0%**	**100.0%**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Pucón1						Pucón - El Claro					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	18.54	0.30%	0.18	0.01	0.79%	0.27%
Cob-2	Huertos												
Cob-3	Barbechos	0.72	0.00%	0.01	0.00	0.01%	0.00%	2.07	0.03%	0.02	0.00	0.09%	0.03%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	1324.98	5.16%	2.42	0.30	2.93%	1.16%	212.04	3.43%	0.38	0.05	1.70%	0.92%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	14112.81	54.91%	28.36	14.37	34.27%	55.55%	2988.72	48.33%	5.75	2.91	25.86%	57.33%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables							0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	38.25	0.15%	0.12	0.03	0.14%	0.12%	10.08	0.16%	0.03	0.01	0.14%	0.16%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	283.23	1.10%	0.85	0.23	1.03%	0.88%	105.03	1.70%	0.32	0.08	1.42%	1.66%
Cob-9	Praderas Anuales	2051.55	7.98%	12.89	1.93	15.58%	7.46%	178.38	2.88%	1.13	0.17	5.08%	3.32%
Cob-10	Praderas Perennes												
Cob-11	Otros Pastizales	2823.66	10.99%	18.49	2.77	22.34%	10.69%	1180.98	19.10%	7.47	1.12	33.58%	21.98%
Cob-12	Pastizales Áridos	2.34	0.01%	0.02	0.00	0.02%	0.01%	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-13	Matorrales	2379.78	9.26%	13.27	0.94	16.04%	3.64%	1254.78	20.29%	6.52	0.46	29.35%	9.11%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	6.21	0.02%	0.03	0.00	0.04%	0.01%	26.46	0.43%	0.14	0.01	0.63%	0.20%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos							0	0.00%			0.00%	0.00%
Cob-16	Superficie Impermeables	18.45	0.07%	0.04	0.04	0.05%	0.14%	111.69	1.81%	0.26	0.22	1.17%	4.32%
Cob-17	Suelos Arenoso	0.36	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%	2.25	0.04%	0.00	0.00	0.01%	0.04%
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	327.06	1.27%	0.89	0.75	1.07%	2.89%	0.27	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.01%
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	2094.57	8.15%	5.35	4.52	6.46%	17.45%	18	0.29%	0.04	0.03	0.18%	0.65%
Total		**25464.24**	**99%**	**82.74**	**25.88**	**100%**	**100%**	**6109.65**	**99%**	**22.23**	**5.08**	**100%**	**100%**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Quelhue						Ribera Norte					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos	34.65	0.73%	0.33	0.03	2.84%	0.65%	37.44	0.15%	0.34	0.03	1.32%	0.40%
Cob-2	Huertos							0.63	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-3	Barbechos	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%	2.16	0.01%	0.02	0.00	0.08%	0.02%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	839.25	17.62%	1.53	0.19	13.04%	4.78%	515.16	2.07%	0.94	0.12	3.63%	1.75%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	3056.31	64.15%	6.11	3.10	52.02%	78.28%	4043.16	16.22%	7.53	3.82	29.12%	57.63%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables	1.53	0.03%	0.00	0.00	0.03%	0.04%	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	16.2	0.34%	0.05	0.01	0.43%	0.34%	36.63	0.15%	0.11	0.03	0.41%	0.43%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	372.33	7.82%	1.15	0.31	9.83%	7.82%	515.34	2.07%	1.54	0.41	5.94%	6.22%
Cob-9	Praderas Anuales	81.36	1.71%	0.52	0.08	4.43%	1.97%	2111.58	8.47%	12.66	1.89	48.92%	28.58%
Cob-10	Praderas Perennes							0.54	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.00%
Cob-11	Otros Pastizales	188.37	3.95%	1.23	0.18	10.45%	4.64%	255.15	1.02%	1.65	0.25	6.37%	3.72%
Cob-12	Pastizales Áridos	0.09	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%	0.81	0.00%	0.00	0.00	0.02%	0.01%
Cob-13	Matorrales	145.98	3.06%	0.78	0.06	6.66%	1.40%	212.85	0.85%	1.06	0.08	4.10%	1.14%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	5.31	0.11%	0.03	0.00	0.25%	0.05%	3.15	0.01%	0.02	0.00	0.06%	0.02%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos												
Cob-16	Superficie Impermeables							1.44	0.01%	0.00	0.00	0.01%	0.04%
Cob-17	Suelos Arenoso							0.45	0.00%	0.00	0.00	0.00%	0.01%
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca												
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	0.45	0.01%	0.00	0.00	0.01%	0.02%	1.08	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.03%
Total		**4741.92**	**100%**	**11.75**	**3.96**	**100%**	**100%**	**7737.66**	**31%**	**25.87**	**6.63**	**100%**	**100%**

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

		Trancura						Volcán Villarrica					
ID	Name	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)	LAND COVER CHILE (2014) Superficie (ha)	Superficie (%)	Nitrógeno total (ton/año)	Fósforo total (ton/año)	NT (%)	PT (%)
Cob-1	Otros Cultivos							4.5	0.12%	0.04	0.00	0.28%	0.09%
Cob-2	Huertos							0.09	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-3	Barbechos	1.53	0.00%	0.015	0.001	0.01%	0.00%	1.35	0.04%	0.01	0.00	0.09%	0.03%
Cob-4	B. Nativo de Hoja Ancha Primaria	4686.48	13.32%	8.272	1.022	8.12%	3.64%	23.13	0.60%	0.04	0.01	0.28%	0.15%
Cob-5	B. Nativo de Hoja Ancha Renovable	17770.23	50.51%	33.861	17.165	33.24%	61.15%	1432.89	37.43%	2.76	1.40	18.62%	40.67%
Cob-6	B. Nativo Coníferas Renovables							0.27	0.01%	0.00	0.00	0.00%	0.01%
Cob-7	B. Plantaciones de Hoja Ancha Adulta	16.02	0.05%	0.048	0.013	0.05%	0.05%	11.43	0.30%	0.03	0.01	0.23%	0.27%
Cob-8	B. Plantaciones Coníferas Adulta	61.29	0.17%	0.182	0.049	0.18%	0.17%	92.43	2.41%	0.28	0.07	1.85%	2.14%
Cob-9	Praderas Anuales	777.87	2.21%	4.806	0.719	4.72%	2.56%	371.52	9.71%	2.30	0.34	15.49%	9.99%
Cob-10	Praderas Perennes												
Cob-11	Otros Pastizales	2085.57	5.93%	13.064	1.955	12.82%	6.97%	695.34	18.16%	4.31	0.65	29.08%	18.76%
Cob-12	Pastizales Áridos	5.31	0.02%	0.034	0.005	0.03%	0.02%	0.18	0.00%	0.00	0.00	0.01%	0.00%
Cob-13	Matorrales	6947.55	19.75%	36.157	2.565	35.49%	9.14%	789.21	20.62%	4.16	0.30	28.06%	8.58%
Cob-14	Matorrales Arborescentes	3.06	0.01%	0.016	0.001	0.02%	0.00%	21.33	0.56%	0.11	0.01	0.76%	0.23%
Cob-15	Otros Matorrales Áridos	0.09	0.00%	0.000	0.000	0.00%	0.00%						
Cob-16	Superficie Impermeables	8.28	0.02%	0.020	0.017	0.02%	0.06%	8.46	0.22%	0.02	0.02	0.14%	0.50%
Cob-17	Suelos Arenoso	0.99	0.00%	0.001	0.001	0.00%	0.00%						
Cob-18	Suelo Rocoso - Roca	472.41	1.34%	1.159	0.979	1.14%	3.49%	24.39	0.64%	0.06	0.05	0.40%	1.47%
Cob-19	Suelo Rocoso - Grava	1840.68	5.23%	4.236	3.577	4.16%	12.74%	301.41	7.87%	0.70	0.59	4.70%	17.10%
	Total	**34677.36**	**98.57%**	**101.872**	**28.068**	**100.00%**	**100.00%**	**3777.93**	**98.69%**	**14.83**	**3.44**	**100.00%**	**100.00%**

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

10. ANEXO 3: Ajustes Modelos WASP

Estero Molco (M1)

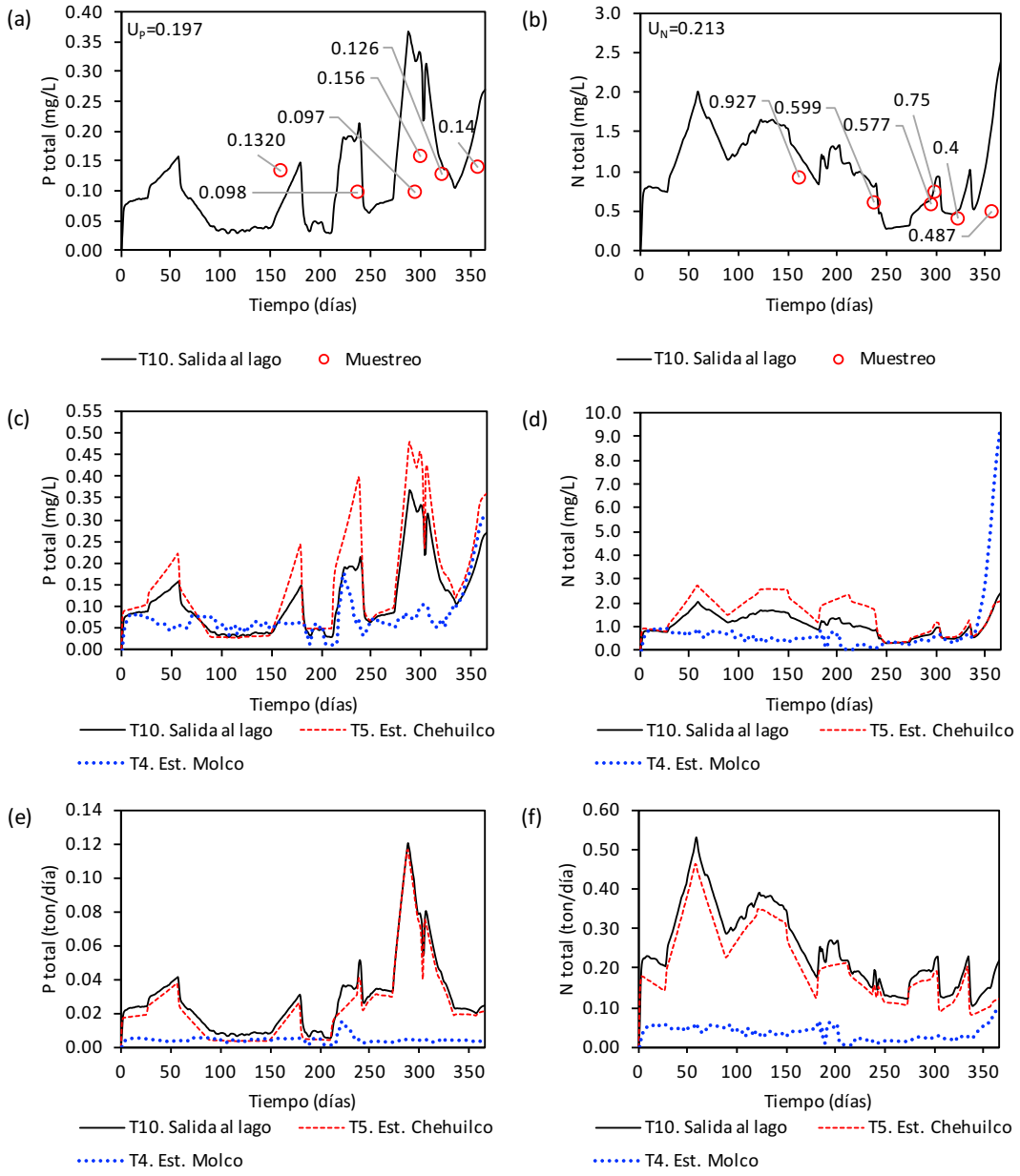


Figura 10.1 Modelación del transporte de nutrientes para estero Molco: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.10 (salida al lago), T.5 (Estero Chehuilco) 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.

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Estero Loncotraro (M2)

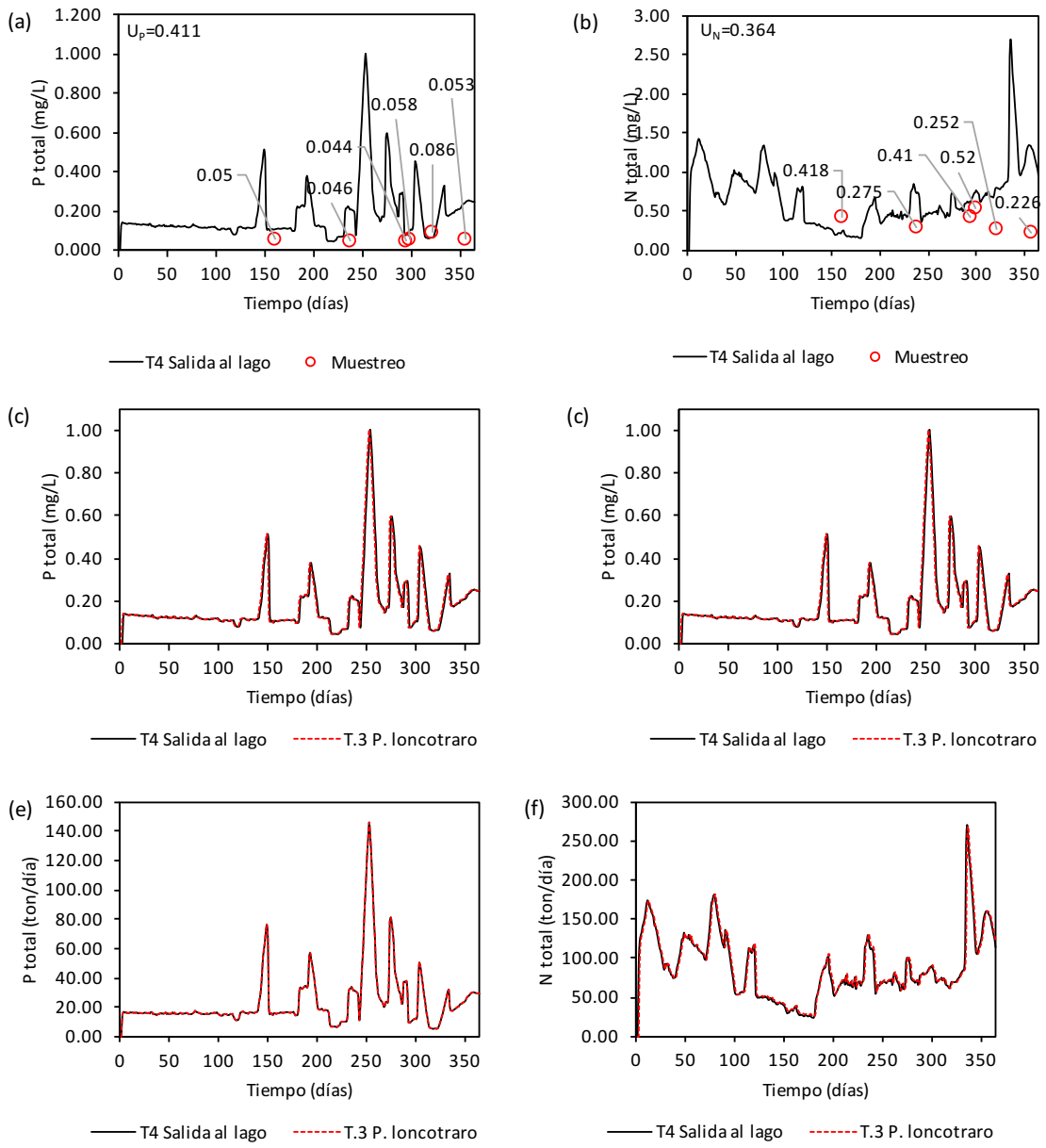


Figura 10.2 Modelación del transporte de nutrientes para estero Loncotraro: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.4 (salida al lago) y T.3 (Estero Loncotraro). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.4 y T.3 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Estero Correntoso (M3)

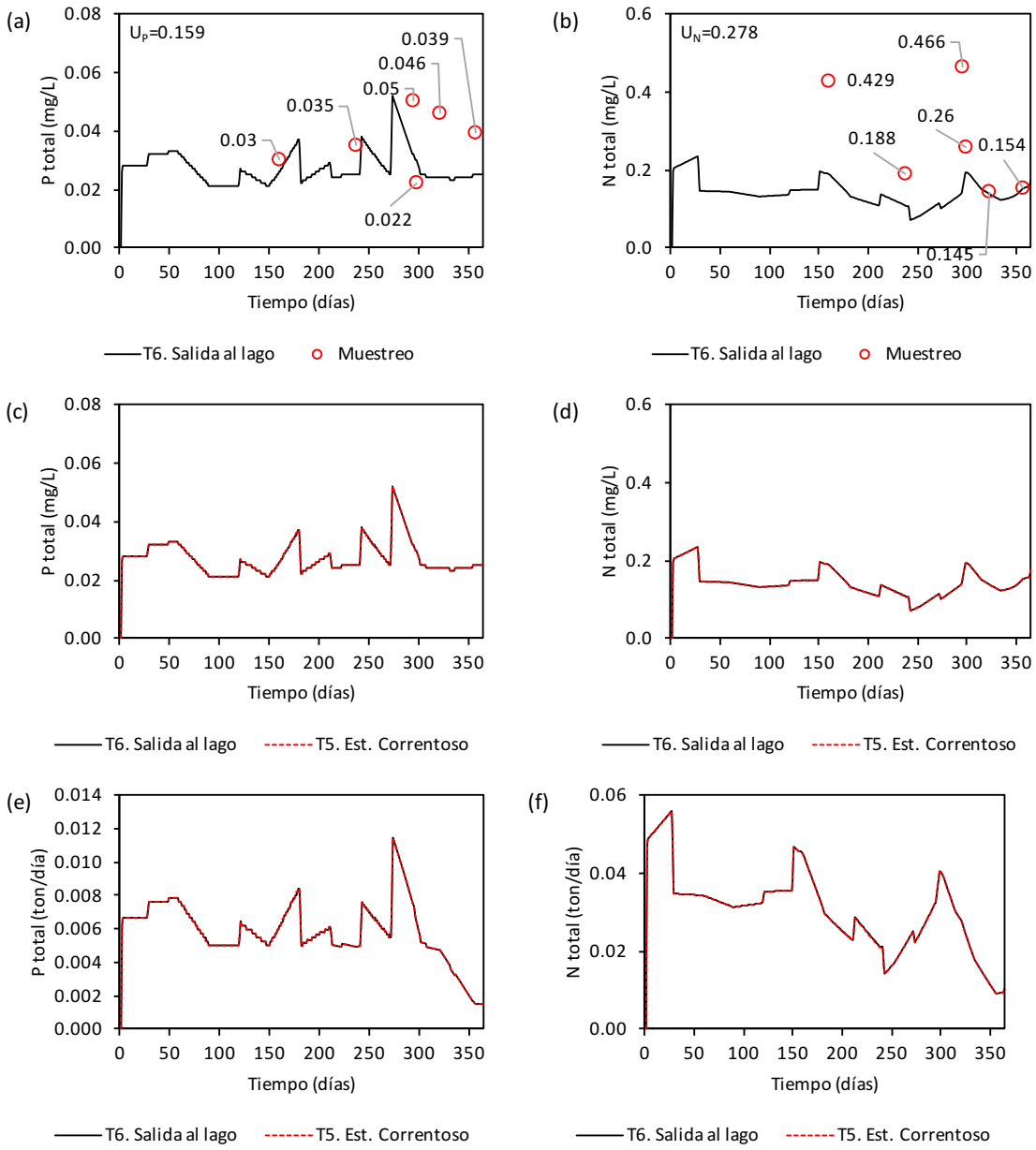


Figura 10.3 Modelación del transporte de nutrientes para estero Correntoso: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago) y T.5 (Estero Correntoso). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Estero Los Chilcos (M4)

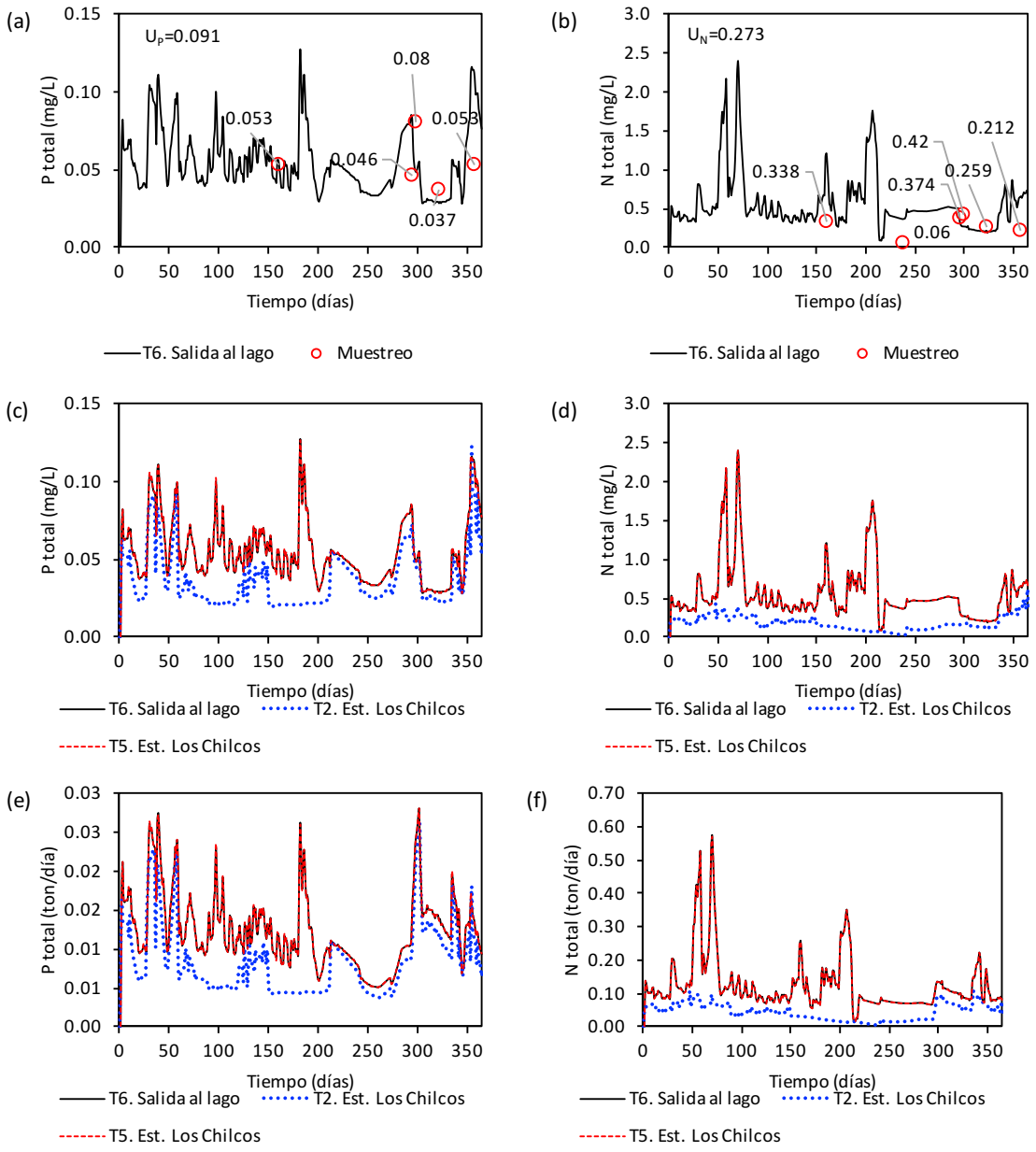


Figura 10.4 Modelación del transporte de nutrientes para estero Los Chilcos: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.6 (salida al lago), T.2 y T.5 (Estero Los Chilcos). Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.6, T.2 y T.5 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Río Trancura (M5)

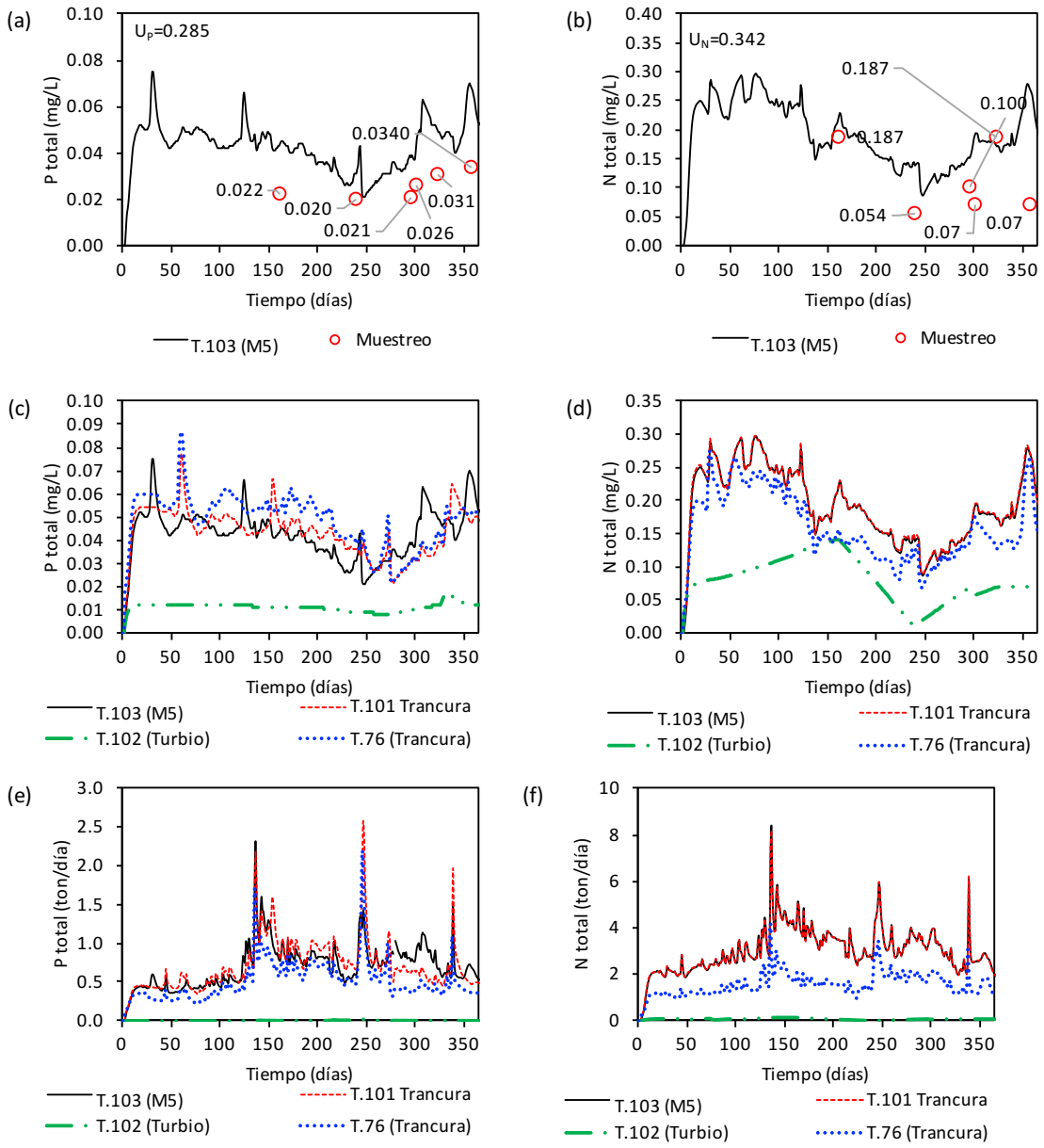
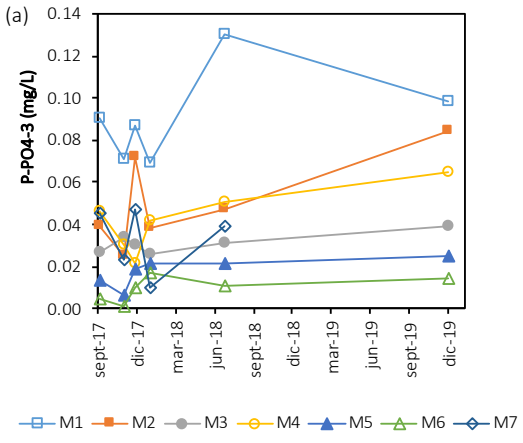


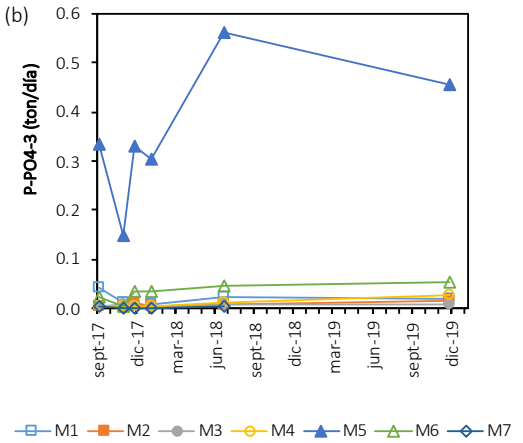
Figura 10.5 Modelación del transporte de nutrientes para Río Trancura: Comparación de la concentración de (a) Fósforo total y (b) Nitrógeno total (modelo vs Muestreo). Comparación de la concentración de (c) Fósforo total y (d) Nitrógeno total entre los tramos T.103 (Control), T.101, 102 y T.76. Comparación de carga diaria en ton/día entre los tramos T.103 (control), T.101, T.102 y T.76 para (e) Fósforo total y (f) Nitrógeno total.

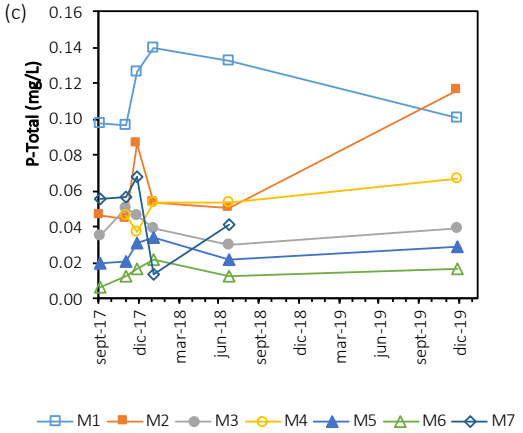
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

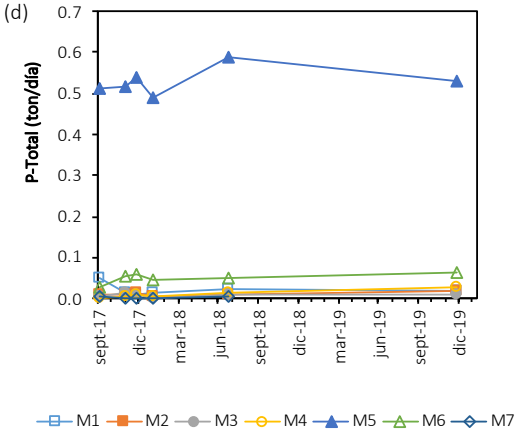
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

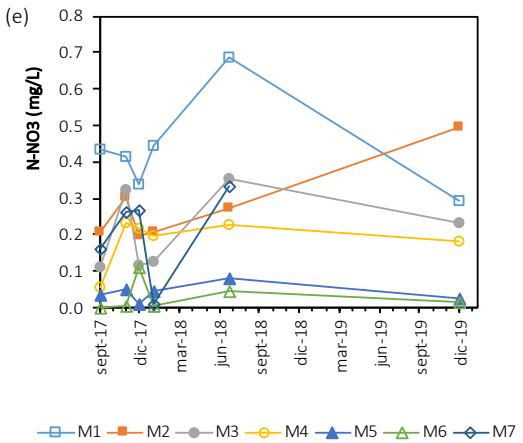
11. ANEXO 4: Resumen gráfico monitoreos de calidad de agua en puntos de control.

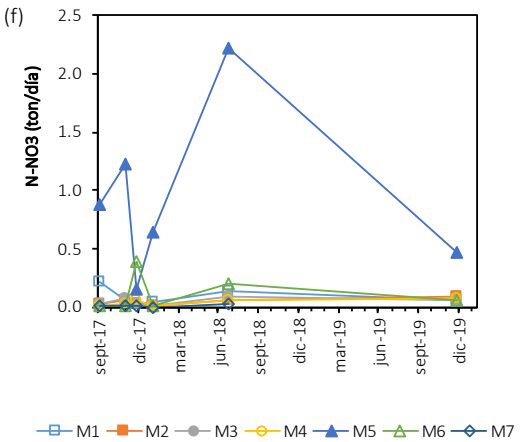




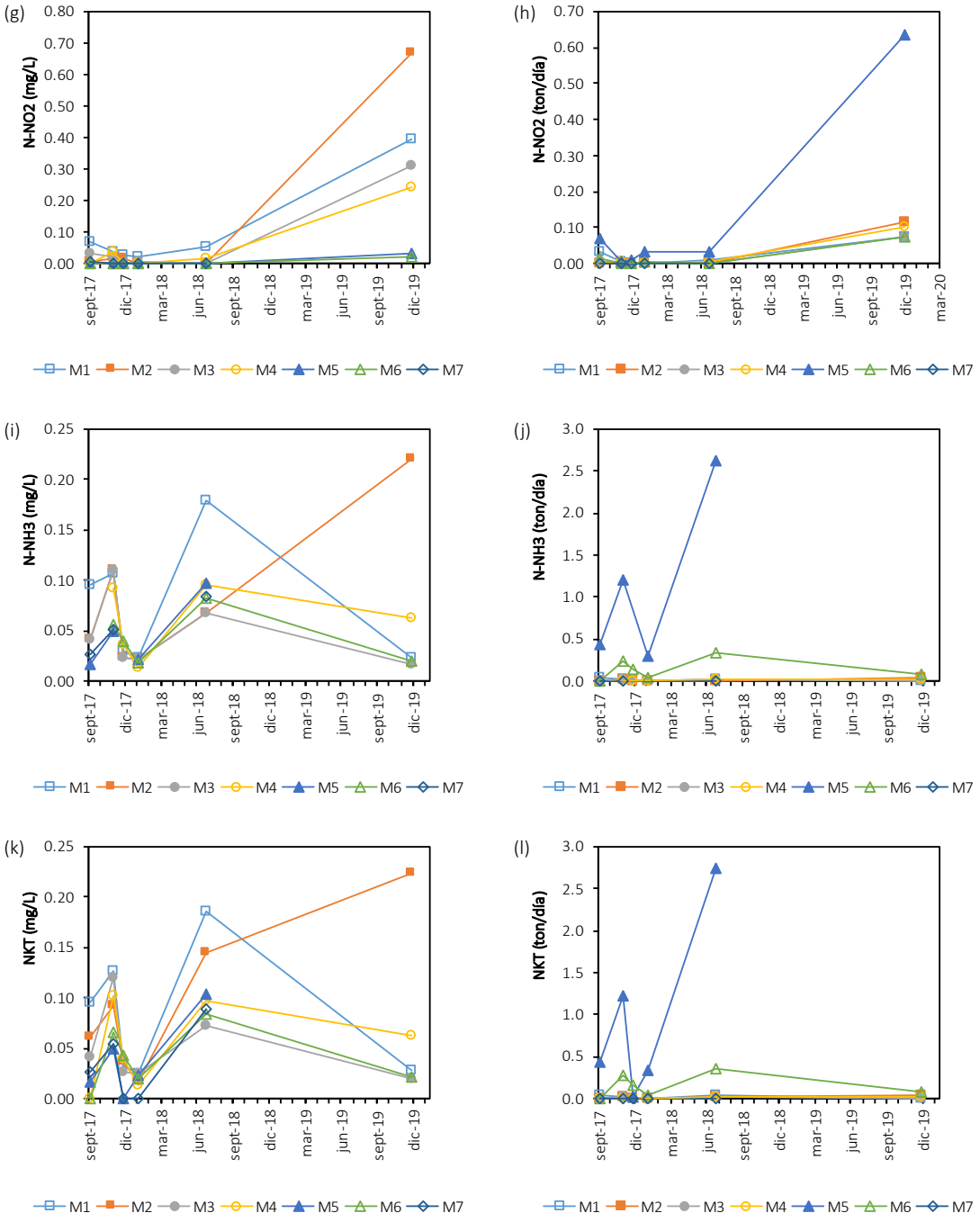




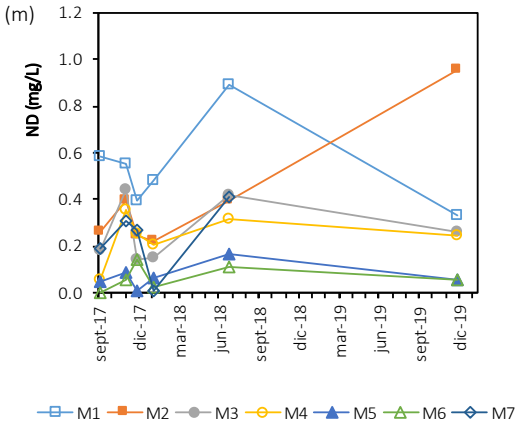


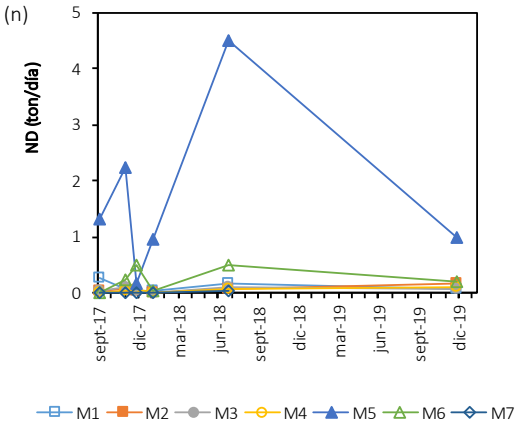


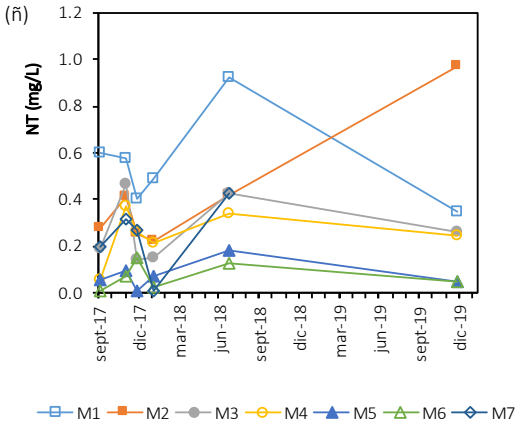
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

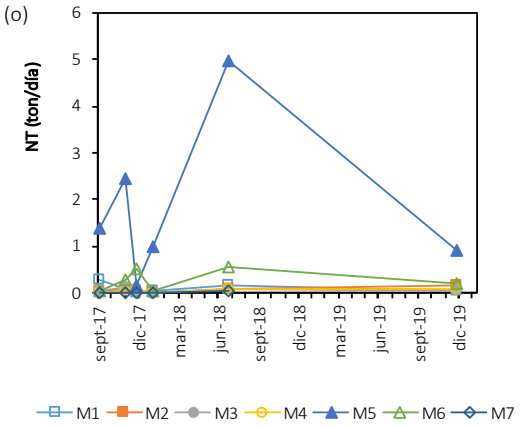


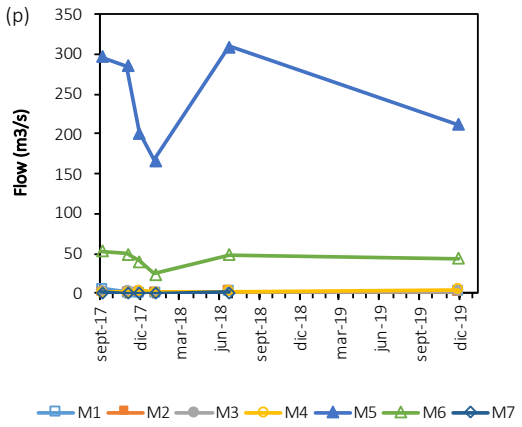
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

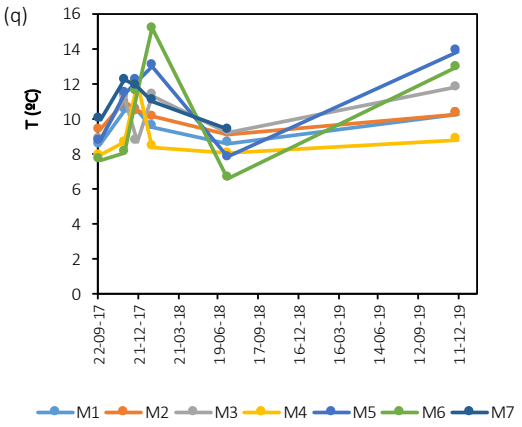

(m)
ND (mg/L)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
sept-17
dic-17
mar-18
jun-18
sept-18
dic-18
mar-19
jun-19
sept-19
dic-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7


(n)
ND (ton/día)
5
4
3
2
1
0
sept-17
dic-17
mar-18
jun-18
sept-18
dic-18
mar-19
jun-19
sept-19
dic-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7

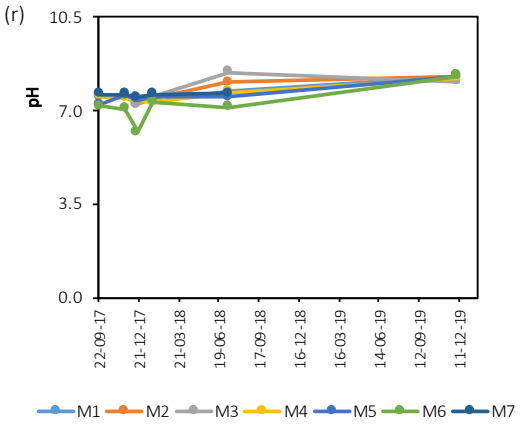

(ñ)
NT (mg/L)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
sept-17
dic-17
mar-18
jun-18
sept-18
dic-18
mar-19
jun-19
sept-19
dic-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7

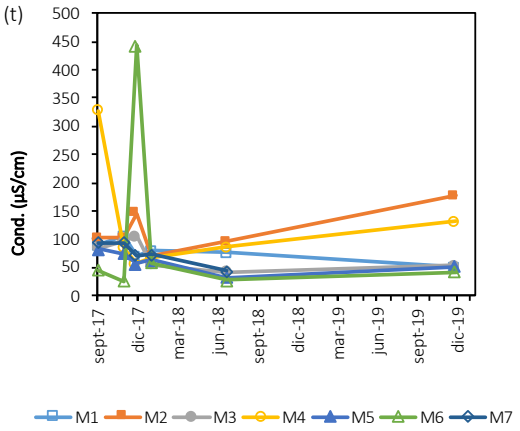

(o)
NT (ton/día)
6
5
4
3
2
1
0
sept-17
dic-17
mar-18
jun-18
sept-18
dic-18
mar-19
jun-19
sept-19
dic-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7


(p)
Flow (m3/s)
350
300
250
200
150
100
50
0
sept-17
dic-17
mar-18
jun-18
sept-18
dic-18
mar-19
jun-19
sept-19
dic-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7


(q)
T (ºC)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
22-09-17
21-12-17
21-03-18
19-06-18
17-09-18
16-12-18
16-03-19
14-06-19
12-09-19
11-12-19
M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua





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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

12. ANEXO 5: Tablas resumen de monitoreos de calidad de agua en puntos de control.

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
M-1	26-09-17	5.62	8.54	7.5	89.00	9.81	0.090	0.098	1.926	0.226	0.095	0.095	0.599	0.599	-
	22-11-17	1.82	10.48	7.55	105.00	8.47	0.071	0.097	1.825	0.127	0.107	0.107	0.558	0.577	-
	19-12-17	0.82	10.51	7.41	70.00	10.29	0.087	0.126	1.508	0.084	0.030	0.030	0.396	0.400	-
	23-01-18	1.18	9.56	7.33	79.00	10.10	0.069	0.140	1.960	0.067	0.023	0.023	0.486	0.487	-
	11-07-18	2.17	8.63	7.70	76.30	0.36	0.130	0.132	3.040	0.181	0.180	0.180	0.922	0.927	0.08
	26-11-18	1.58	10.79	7.60	165.00	7.05	0.108	0.156	2.635	0.006	0.180	0.151	0.737	0.750	33.79
	09-12-19	2.14	10.27	8.27	50.00	8.27	0.10	0.10	1.30	0.05	0.02	0.03	0.33	0.35	0.88
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
	09-12-19	2.03	10.27	8.27	177.00	8.10	0.08	0.12	2.20	0.79	0.22	0.22	0.96	0.97	0.58
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
	09-12-19	2.76	11.82	8.09	53.00	8.19	0.04	0.04	1.03	0.03	0.02	0.02	0.26	0.26	0.40
M-4	26-09-17	1.10	7.94	7.52	328.00	10.00	0.046	0.350	0.254	0.009	<0.009	<0.009	0.060	0.060	-
	22-11-17	1.06	8.66	7.47	85.00	9.20	0.030	0.046	1.033	0.126	0.093	0.093	0.365	0.374	-
	19-12-17	3.25	12.07	7.40	57.00	9.85	0.021	0.037	0.968	0.005	0.037	0.037	0.257	0.259	-
	23-01-18	0.98	8.38	7.29	67.00	10.54	0.042	0.053	0.866	0.009	0.013	0.013	0.211	0.212	-
	11-07-18	2.59	8.04	7.66	86.00	0.28	0.051	0.053	0.995	0.051	0.095	0.095	0.335	0.338	<0.02
	26-11-18	3.20	8.69	7.40	56.00	7.70	0.044	0.080	1.375	0.002	0.131	0.111	0.413	0.420	0.27
	09-12-19	4.80	8.84	8.24	132.00	9.54	0.07	0.07	0.80	0.01	0.06	0.06	0.24	0.25	0.65

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
M-5	26-09-17	285.98	8.77	7.23	83.00	9.60	0.013	0.020	0.153	0.009	0.017	0.017	0.054	0.054	-
	22-11-17	270.09	11.44	7.57	75.00	8.48	0.006	0.021	0.220	0.001	0.049	0.049	0.099	0.100	-
	19-12-17	183.85	12.19	7.39	57.00	10.54	0.019	0.031	0.037	0.002	<0.009	<0.009	0.009	0.010	-
	23-01-18	152.58	13.03	7.52	64.00	4.43	0.021	0.034	0.198	0.008	0.021	0.021	0.068	0.070	-
	11-07-18	238.93	7.85	7.50	32.00	12.23	0.021	0.022	0.367	0.004	0.098	0.098	0.182	0.187	0.14
	27-11-18	253.27	12.22	7.41	49.00	10.71	0.015	0.026	0.210	0.001	0.020	0.018	0.063	0.070	0.66
	09-12-19	211.59	13.87	8.31	52.00	7.68	0.03	0.03	0.11	0.09	<0.009	<0.001	0.05	0.05	2.36
M-6	26-09-17	40.02	7.65	7.16	46.00	3.60	0.005	0.006	0.003	0.009	<0.009	<0.009	0.003	0.010	-
	22-11-17	35.07	8.09	7.04	26.00	11.89	0.001	0.012	0.014	0.001	0.056	0.056	0.059	0.069	-
	19-12-17	23.58	11.57	6.21	443.00	10.60	0.010	0.017	0.483	0.001	0.040	0.040	0.149	0.152	-
	23-01-18	10.40	15.16	7.34	59.00	5.88	0.017	0.022	0.023	0.006	0.018	0.018	0.025	0.027	-
	11-07-18	26.48	6.64	7.13	27.00	8.79	0.011	0.012	0.200	0.002	0.082	0.082	0.128	0.129	0.72
	26-11-18	23.00	11.54	6.85	38.00	8.53	0.005	0.018	0.154	0.001	0.042	0.035	0.068	0.070	0.26
	09-12-19	44.07	12.96	8.31	43.00	5.03	0.01	0.02	0.07	0.06	0.02	0.02	0.05	0.05	0.27
M-7	26-09-17	1.17	10.00	7.61	94.00	9.25	0.045	0.055	0.715	0.020	0.027	0.027	0.195	0.195	-
	22-11-17	0.46	12.26	7.59	94.00	8.15	0.023	0.057	1.168	0.003	0.052	0.052	0.317	0.320	-
	19-12-17	0.43	11.89	7.51	72.00	10.24	0.047	0.068	1.182	0.003	<0.009	<0.009	0.268	0.268	-
	23-01-18	0.35	11.03	7.61	73.00	9.98	0.010	0.013	0.037	0.007	<0.009	<0.009	0.010	0.010	-
	11-07-18	1.03	9.42	7.65	44.20	0.36	0.039	0.041	1.484	0.004	0.084	0.084	0.420	0.425	0.08
	26-11-18	1.36	12.12	7.77	66.00	7.09	0.042	0.071	1.502	0.007	0.052	0.044	0.382	0.380	0.61
B-1	26-09-17	0.28	8.33	7.10	82.00	9.75	0.010	0.013	0.037	0.007	<0.009	<0.009	0.010	0.010	-
	22-11-17	0.19	10.26	7.47	79.00	7.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.14	13.03	7.45	64.00	8.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.08	13.42	7.38	60.00	8.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.56	8.08	8.23	31.80	0.19	0.010	0.009	0.157	0.005	0.056	0.056	0.093	0.106	0.04
	27-11-18	0.43	8.90	7.43	52.00	7.28	0.009	0.027	0.795	0.001	0.036	0.032	0.208	0.210	1.04

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-2	26-09-17	1.77	9.20	7.54	91.00	9.62	0.023	0.027	0.593	0.020	0.014	0.014	0.154	0.154	-
	22-11-17	1.49	10.68	7.62	92.00	8.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.00	11.34	7.62	9.86	66.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.12	14.77	7.35	53.00	7.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	1.75	8.75	7.63	45.00	0.46	0.024	0.026	1.320	0.006	0.043	0.043	0.343	0.345	0.08
	27-11-18	0.79	10.32	7.65	65.00	7.98	0.014	0.047	1.080	0.006	0.077	0.064	0.306	0.310	0.53
B-3	26-09-17	0.35	8.34	7.39	80.00	9.69	0.018	0.024	0.023	0.007	0.011	0.011	0.018	0.018	-
	22-11-17	0.30	9.52	7.00	77.00	8.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.29	12.97	7.31	55.00	9.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.42	11.54	8.08	64.00	8.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.63	8.51	8.08	33.70	0.20	0.020	0.016	0.322	0.002	0.056	0.056	0.129	0.142	<0.02
	27-11-18	0.17	10.24	7.68	54.00	7.16	0.016	0.023	0.205	0.001	0.112	0.093	0.134	0.140	0.04
B-4	26-09-17	1.45	9.49	7.24	78.00	9.46	0.012	0.017	0.241	0.009	<0.009	<0.009	0.057	0.057	-
	22-11-17	2.03	11.08	7.17	38.00	11.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.67	13.81	7.78	57.50	8.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.67	13.91	7.85	56.00	9.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	2.12	8.94	7.01	35.50	0.20	0.015	0.012	0.580	0.003	0.053	0.053	0.185	0.198	0.85
	26-11-18	1.83	11.59	7.48	53.00	7.65	0.007	0.015	0.378	0.003	0.009	0.005	0.093	0.090	0.58
B-5	26-09-17	10.79	7.25	7.31	49.00	10.03	0.006	0.008	0.008	0.008	<0.009	<0.009	0.004	<0.010	-
	22-11-17	7.48	14.08	7.36	47.00	7.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	4.01	9.98	6.90	27.00	10.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.74	10.04	6.97	30.00	9.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	3.80	8.11	8.09	24.50	0.24	0.009	0.011	0.242	0.004	0.086	0.086	0.142	0.144	<0.02
	26-11-18	4.76	12.79	7.41	28.00	7.41	0.008	0.017	0.345	0.002	0.014	0.013	0.089	0.090	0.08
B-6	26-09-17	38.29	6.60	7.72	34.00	6.16	0.023	0.032	0.071	0.011	<0.009	<0.009	0.019	0.019	-
	22-11-17	50.54	9.54	7.32	33.00	11.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	37.25	7.90	6.46	50.00	14.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	26.23	10.16	10.35	52.60	8.87	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	24.86	6.29	7.45	26.00	14.06	0.060	0.027	0.093	0.002	0.057	0.057	0.079	0.080	0.08
	27-11-18	43.54	7.28	7.25	45.00	12.82	0.021	0.037	0.275	0.001	0.170	0.142	0.194	0.200	0.15

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-7	26-09-17	0.51	8.67	7.68	40.00	5.52	0.001	0.005	0.134	0.007	<0.009	<0.009	0.032	0.032	-
	22-11-17	0.41	11.05	7.44	42.00	10.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.12	13.32	8.06	61.00	6.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.20	14.49	10.38	65.30	6.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.51	7.17	7.55	27.00	10.74	0.003	0.002	0.063	0.003	0.063	0.063	0.078	0.093	<0.02
	26-11-18	0.35	10.57	7.31	50.00	9.43	0.005	0.006	0.250	0.001	0.054	0.046	0.099	0.100	0.02
B-8	26-09-17	3.80	6.85	7.54	34.00	5.73	0.001	0.003	0.039	0.007	<0.009	<0.009	0.011	0.011	-
	22-11-17	3.48	9.49	7.56	35.00	11.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.04	12.28	7.79	58.60	6.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	1.41	15.11	10.76	65.80	7.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	5.15	5.69	7.46	26.00	11.49	0.002	<0.0004	0.035	0.004	0.056	0.056	0.065	0.077	0.02
	26-11-18	2.16	10.05	7.40	48.00	12.00	0.003	0.004	0.352	0.001	0.055	0.047	0.123	0.130	0.21
B-9	26-09-17	2.84	7.13	7.64	49.00	5.43	0.006	0.013	0.020	0.007	<0.009	<0.009	0.007	<0.010	-
	22-11-17	6.09	10.84	7.25	46.00	11.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	3.82	9.34	7.57	71.50	7.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	3.88	10.70	8.72	94.00	7.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	8.12	5.86	7.31	12.00	11.84	0.013	0.012	0.122	0.002	0.045	0.045	0.073	0.086	<0.02
	26-11-18	5.73	10.95	7.11	43.00	10.68	0.012	0.009	0.238	0.001	0.009	0.007	0.061	0.060	0.14
B-10	26-09-17	12.04	8.16	7.41	55.00	5.61	0.041	0.042	0.005	0.009	<0.009	<0.009	0.004	<0.010	-
	22-11-17	13.94	8.89	6.92	49.00	11.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	5.06	9.17	7.33	69.80	6.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	8.50	9.10	8.26	74.50	8.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	12.84	7.79	6.93	34.00	10.86	0.044	0.045	0.325	0.004	0.066	0.066	0.141	0.156	<0.02
	26-11-18	9.96	8.89	6.80	54.00	11.56	0.033	0.042	0.417	0.001	0.019	0.016	0.109	0.110	<0.02
B-11	26-09-17	0.05	7.25	7.80	35.00	5.19	0.023	0.031	0.010	0.011	<0.009	<0.009	0.006	<0.010	-
	22-11-17	1.99	12.20	7.06	29.00	10.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	1.47	9.88	7.74	26.90	6.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.91	11.36	9.16	24.40	7.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.06	4.94	7.35	23.00	11.82	0.031	0.029	0.215	0.004	0.057	0.057	0.107	0.156	0.02
	26-11-18	2.05	9.97	6.89	29.00	10.93	0.027	0.059	0.177	0.001	0.009	0.004	0.047	0.040	0.07

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-12	26-09-17	31.36	6.95	7.05	42.00	3.86	0.007	0.014	0.098	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.029	-
	22-11-17	38.78	7.19	6.91	24.00	12.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	22.55	10.72	5.66	37.80	15.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	6.47	13.80	6.98	53.20	6.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	30.26	5.69	7.15	24.00	11.05	0.011	0.008	0.082	0.004	0.066	0.066	0.086	0.100	0.78
	26-11-18	28.26	11.28	6.89	37.00	10.26	0.040	0.180	0.295	0.001	0.065	0.055	0.117	0.120	0.21
	09-12-19	25.85	12.68	7.91	40.00	7.30	0.02	0.02	0.07	0.02	0.01	0.02	0.03	0.04	0.15
B-13	26-09-17	1.30	8.37	7.47	31.00	4.33	0.003	0.003	0.003	0.007	<0.009	<0.009	0.003	<0.010	-
	22-11-17	0.77	10.50	7.17	35.00	10.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.30	9.72	6.25	53.50	12.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.49	11.08	7.42	53.70	7.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.55	7.37	7.13	24.00	11.76	0.002	<0.0004	0.360	0.006	0.057	0.057	0.140	0.153	0.02
	26-11-18	0.83	11.68	7.13	40.00	10.79	0.001	0.005	0.185	0.001	0.019	0.016	0.057	0.060	0.33
B-14	26-09-17	44.71	7.70	7.68	32.00	4.83	0.003	0.003	0.022	0.007	<0.009	<0.009	0.007	<0.010	-
	22-11-17	58.31	8.41	7.20	27.00	12.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	36.61	11.49	6.71	45.50	10.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	22.59	15.02	8.23	51.70	7.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	37.36	5.97	7.25	26.00	12.70	0.010	0.002	0.175	0.005	0.069	0.069	0.110	0.119	<0.02
	26-11-18	24.94	12.42	7.68	43.00	10.40	0.001	0.011	0.200	0.002	0.024	0.021	0.064	0.070	0.40
B-15	26-09-17	25.35	7.06	7.69	27.00	5.10	0.002	0.006	0.098	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.024	-
	22-11-17	17.99	8.80	7.10	33.00	14.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	10.14	10.39	6.39	52.60	11.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	7.61	12.86	9.07	55.60	7.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	4.82	6.03	7.10	22.00	12.01	0.007	0.005	0.210	0.003	0.066	0.066	0.114	0.129	<0.02
	26-11-18	26.11	11.39	7.05	44.00	10.95	<0.001	0.010	0.098	0.001	0.012	0.011	0.032	0.030	0.4
B-16	26-09-17	3.56	7.57	7.00	101.00	9.87	0.045	0.047	0.764	0.008	<0.009	<0.009	0.175	0.175	-
	22-11-17	0.62	7.61	7.09	102.00	8.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	2.43	7.61	6.75	72.00	10.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.36	7.68	6.80	62.00	10.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	1.15	7.66	6.53	49.50	1.23	0.049	0.049	0.548	0.003	0.080	0.080	0.205	0.225	<0.02
	26-11-18	5.00	7.70	7.07	71.00	7.60	0.030	0.056	0.430	0.001	0.038	0.033	0.127	0.130	<0.02

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

Punto	Fecha	Flow (m^3/s)	T (ºC)	pH	Cond. (μS/cm)	DO (ppm)	Fósforo Disuelto [P-PO4-3] (mg/L)	Fósforo Total. [PT] (mg/L)	Nitrato [NO3] (mg/L)	Nitrito [NO2] (mg/L)	Nitrógeno Amoniacal [N-NH3] (mg/L)	Nitrógeno Total Kjeldahl [NKT] (mg/L)	Nitrógeno Disuelto [ND] (mg/L)	Nitrógeno Total [NT] (mg/L)	Clorofila a (ug/L)
B-17	26-09-17	61.90	8.49	7.25	64.00	9.69	0.007	0.014	0.400	0.011	<0.009	<0.009	0.094	0.094	-
	22-11-17	54.25	9.90	7.43	76.00	8.59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	34.01	12.03	7.88	90.60	7.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	33.75	10.75	7.50	102.30	5.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	67.33	8.85	7.46	40.45	10.86	0.018	0.018	0.645	0.002	0.093	0.093	0.239	0.241	0.09
	27-11-18	53.20	11.23	7.08	71.00	11.15	0.017	0.029	0.953	0.011	0.053	0.045	0.260	0.260	3.37
B-19	26-09-17	0.05	9.92	7.20	78.00	7.80	0.016	0.021	0.584	0.009	<0.009	<0.009	0.135	0.135	-
	22-11-17	0.09	9.99	7.25	75.00	6.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.08	10.00	7.02	52.00	8.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.07	10.01	6.91	49.00	7.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	0.01	9.97	6.50	32.40	0.21	0.017	0.016	0.803	0.002	0.052	0.052	0.234	0.247	0.33
	26-11-18	0.98	10.09	7.40	50.00	6.29	0.010	0.027	0.485	0.015	0.017	0.015	0.127	0.130	<0.02
B-20	26-09-17	8.93	8.96	7.67	59.00	9.74	0.013	0.018	0.095	0.007	<0.009	<0.009	0.024	0.024	-
	22-11-17	2.08	9.69	7.71	64.00	7.88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	2.95	9.93	7.37	47.00	9.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	2.91	10.18	7.55	46.00	8.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-07-18	5.20	7.63	6.92	25.20	0.47	0.012	0.011	0.227	0.004	0.057	0.057	0.109	0.122	<0.02
	26-11-18	6.77	9.43	7.69	38.00	6.06	0.010	0.023	0.183	0.001	0.030	0.025	0.065	0.070	<0.02
B-21	26-09-17	0.03	9.93	7.22	104.00	9.31	0.053	0.058	1.806	0.007	<0.009	<0.009	0.410	0.410	-
	22-11-17	0.04	10.21	7.18	104.00	7.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19-12-17	0.03	10.74	7.27	80.00	9.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	23-01-18	0.01	10.82	7.22	82.00	8.84	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-07-18	0.09	10.06	6.98	52.20	0.43	0.051	0.053	1.702	0.003	0.073	0.073	0.458	0.461	<0.02
	27-11-18	0.12	9.95	7.23	72.00	6.99	0.05	0.059	1.765	0.004	0.03	0.026	0.423	0.43	0.02

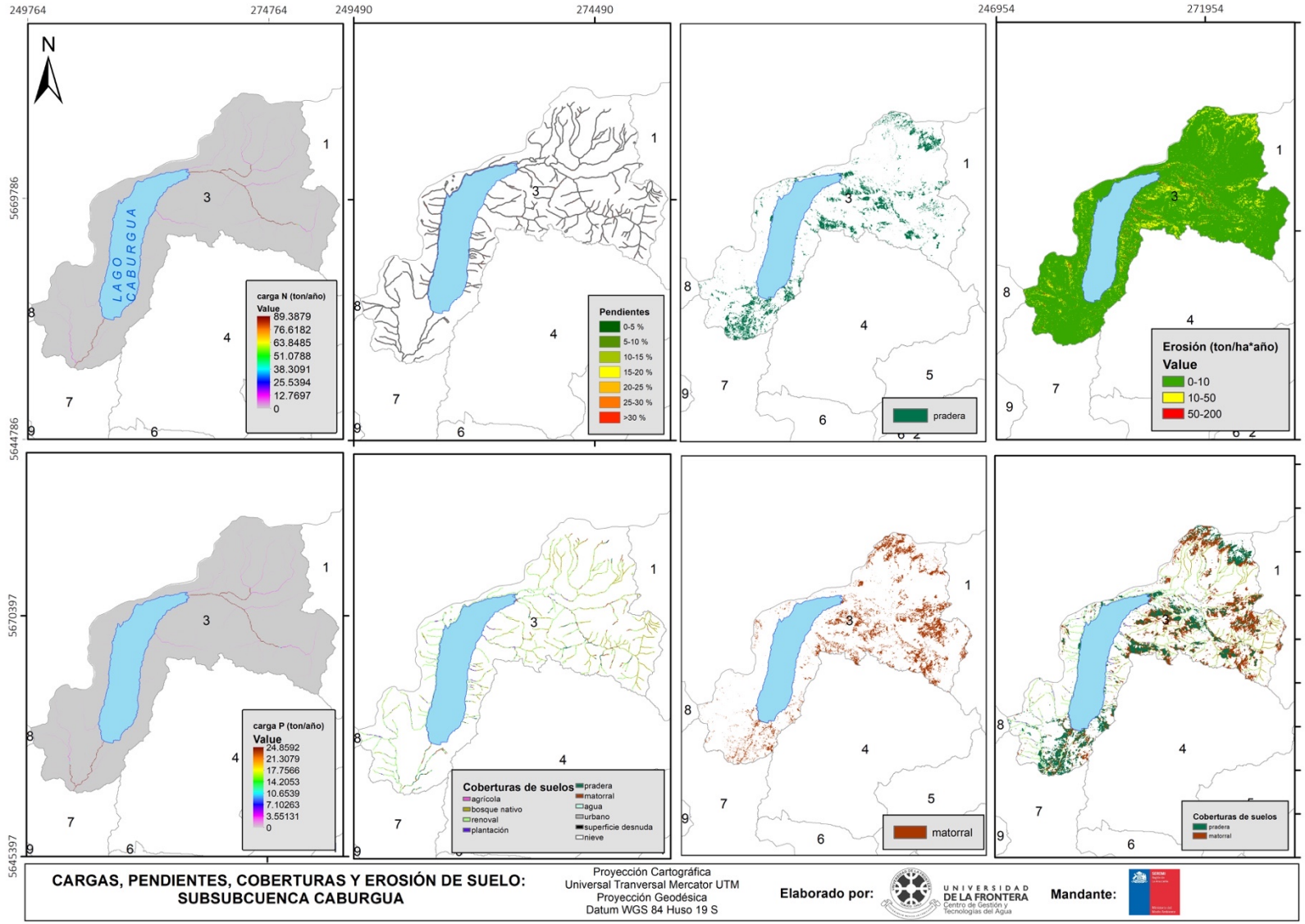
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

11. ANEXO 6: Mapas temáticos para evaluación de medidas de reducción N-SPECT

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



CARGAS, PENDIENTES, COBERTURAS Y EROSIÓN DE SUELO: SUBSUBCUENCA CABURGUA

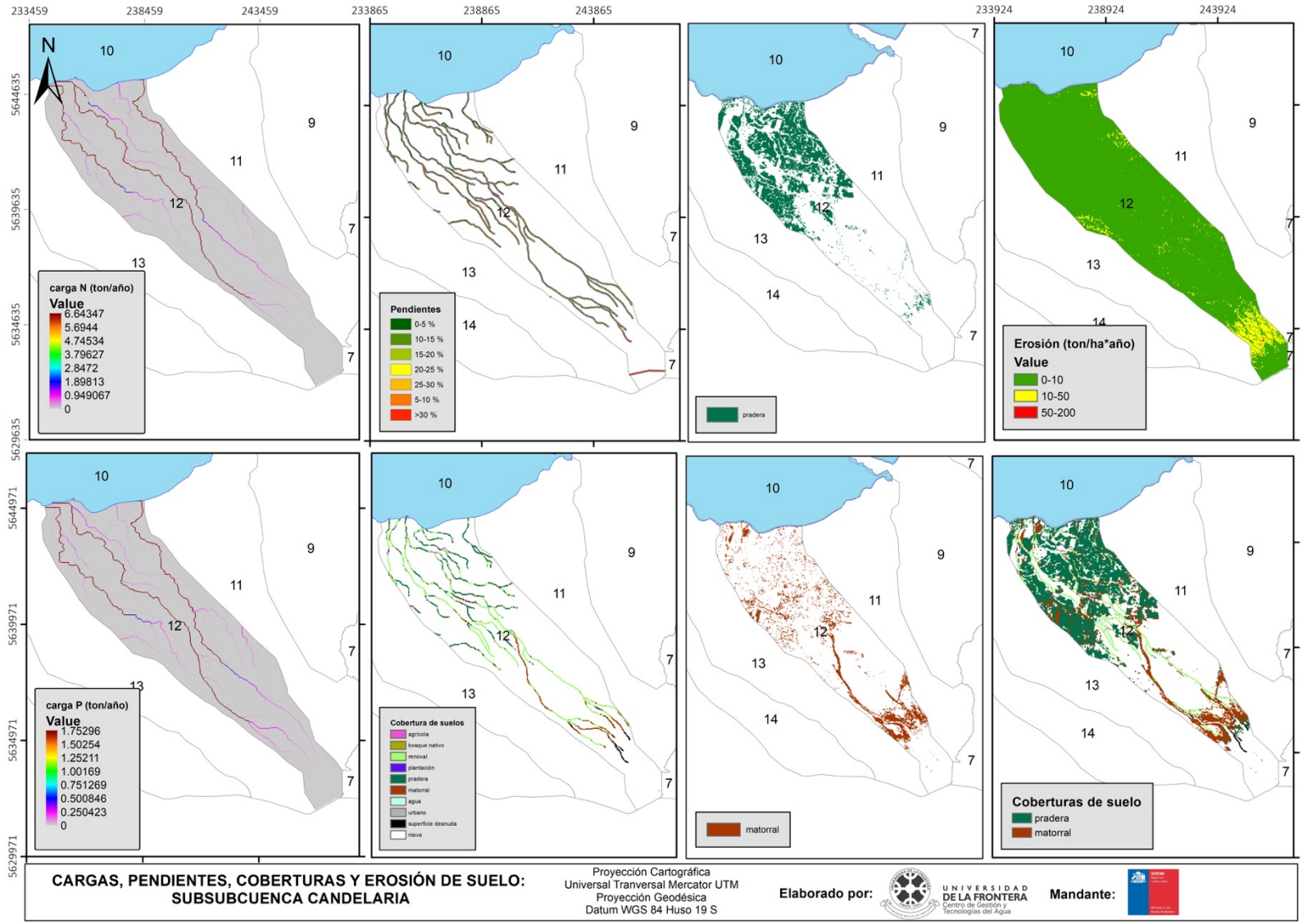
Proyección Cartográfica
Universal Tranversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

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

Mandante:

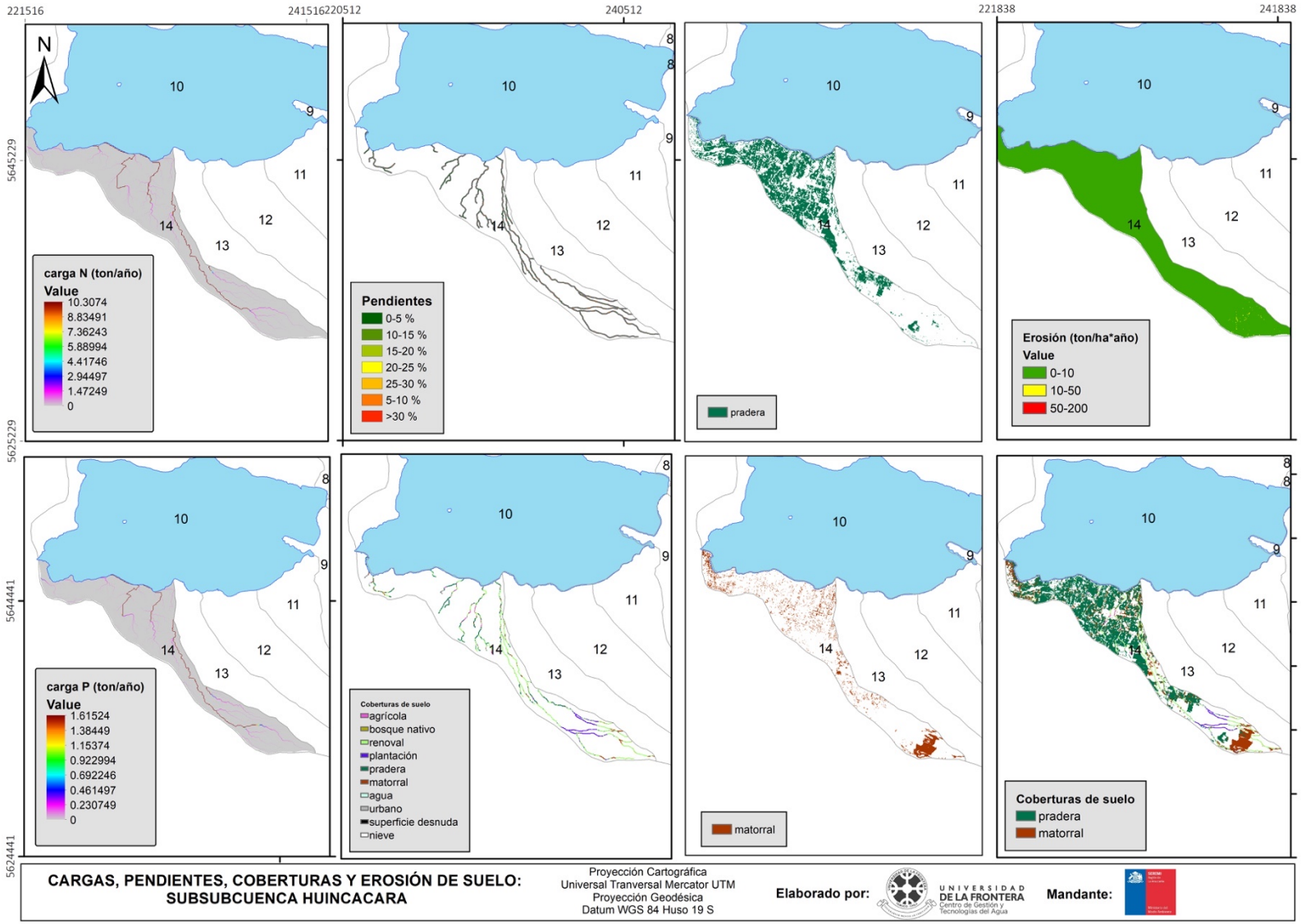
Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



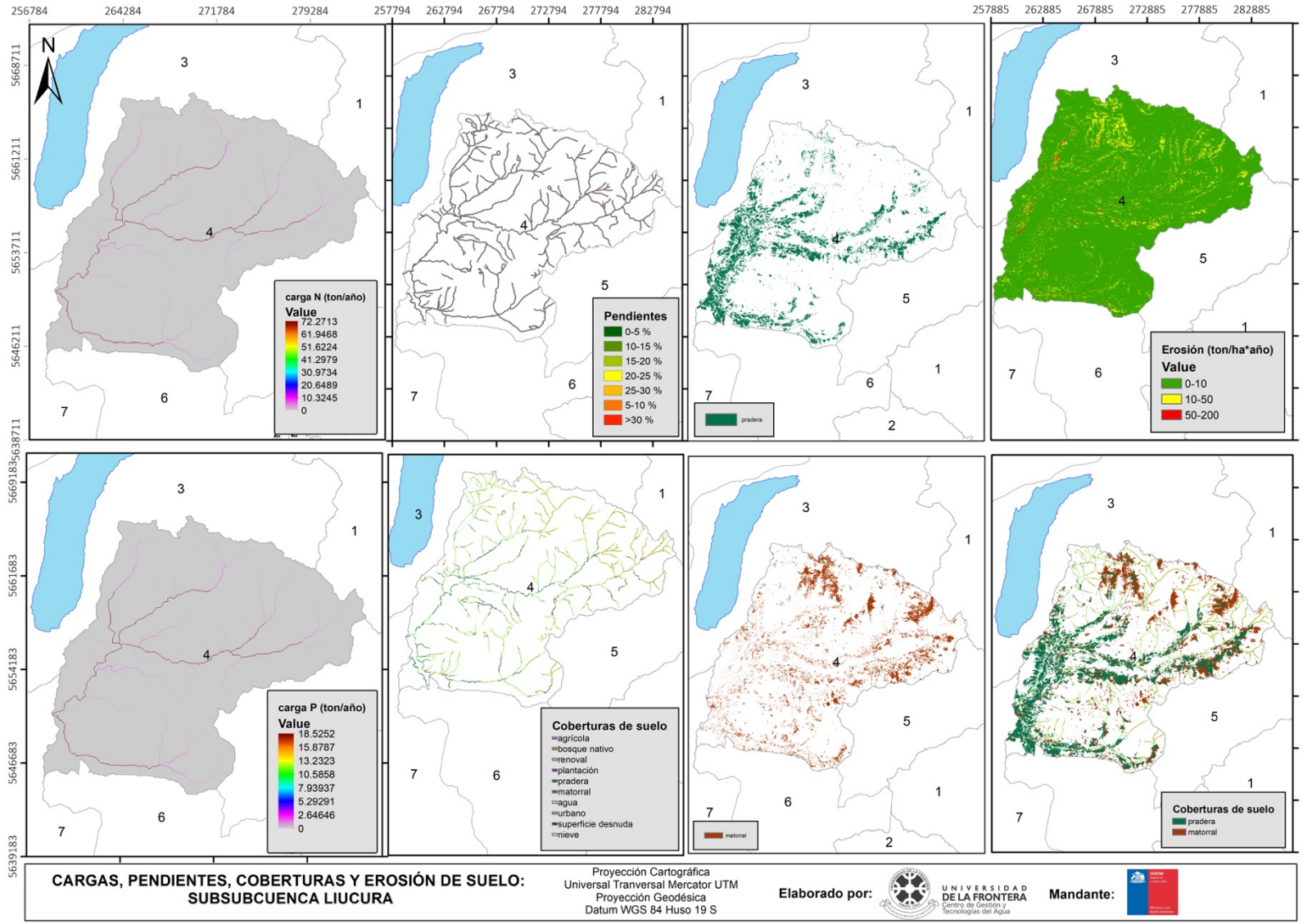
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



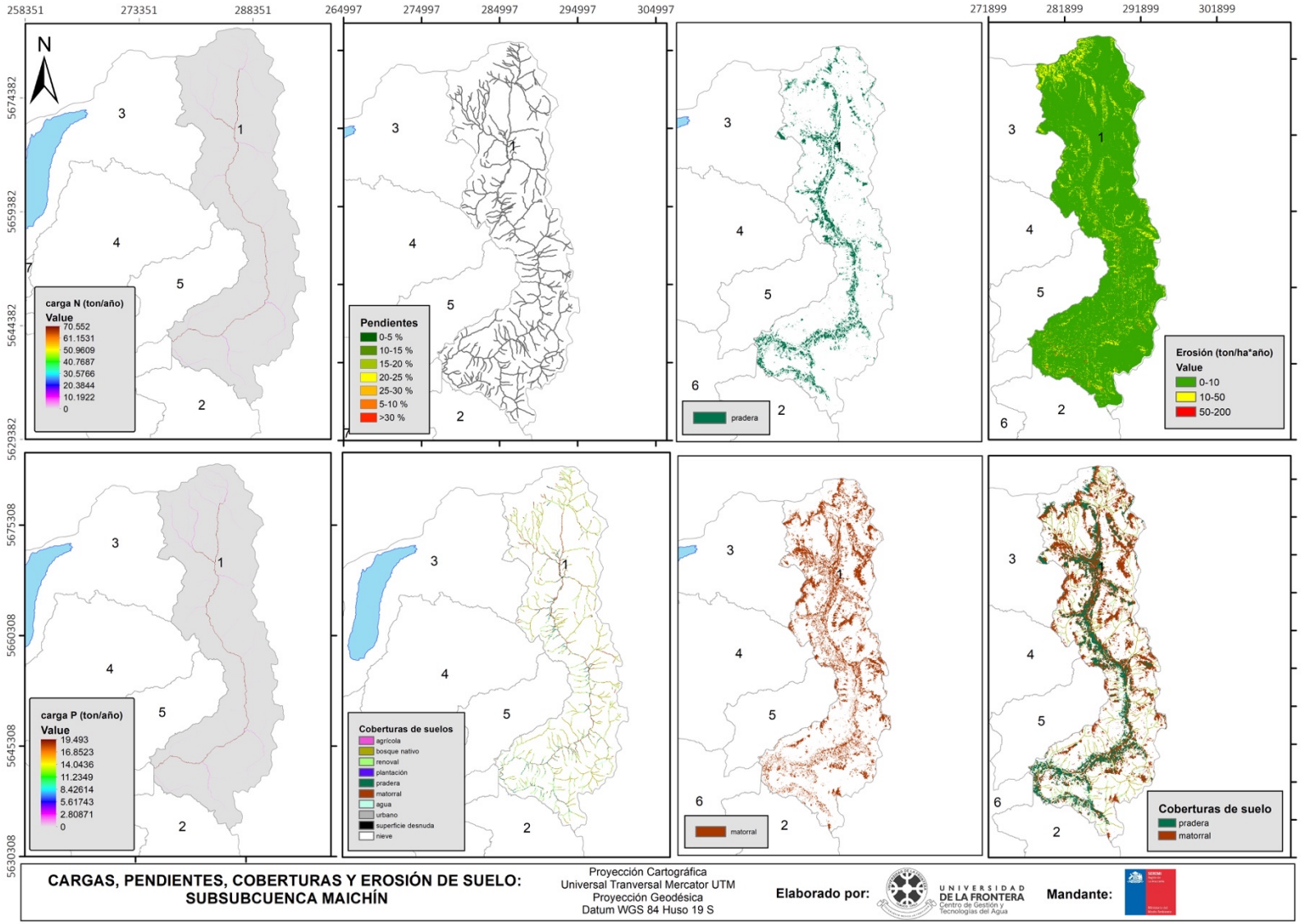
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



CARGAS, PENDIENTES, COBERTURAS Y EROSIÓN DE SUELO: SUBSUBCUENCA MAICHÍN

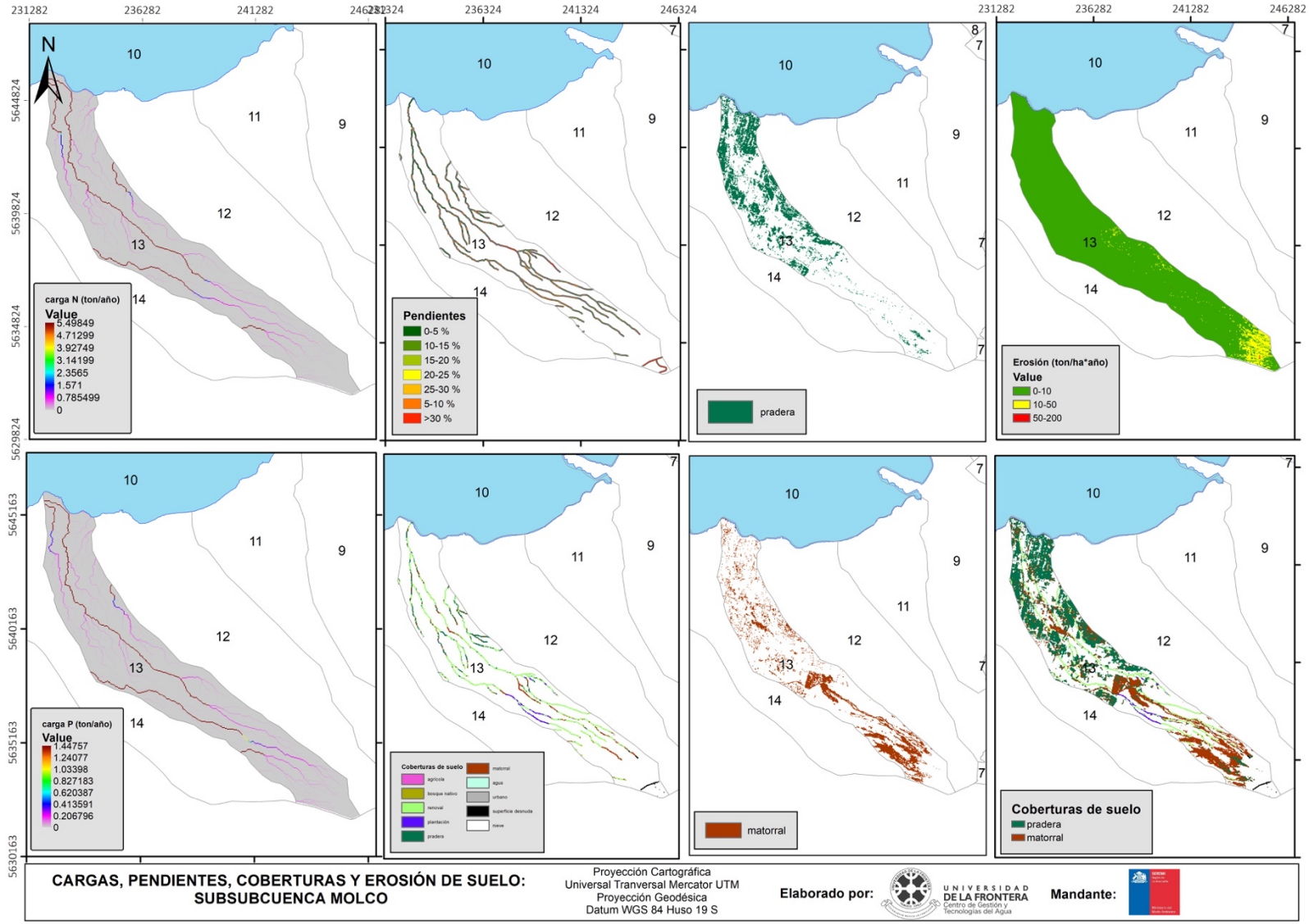
Proyección Cartográfica
Universal Tranversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

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

Mandante:

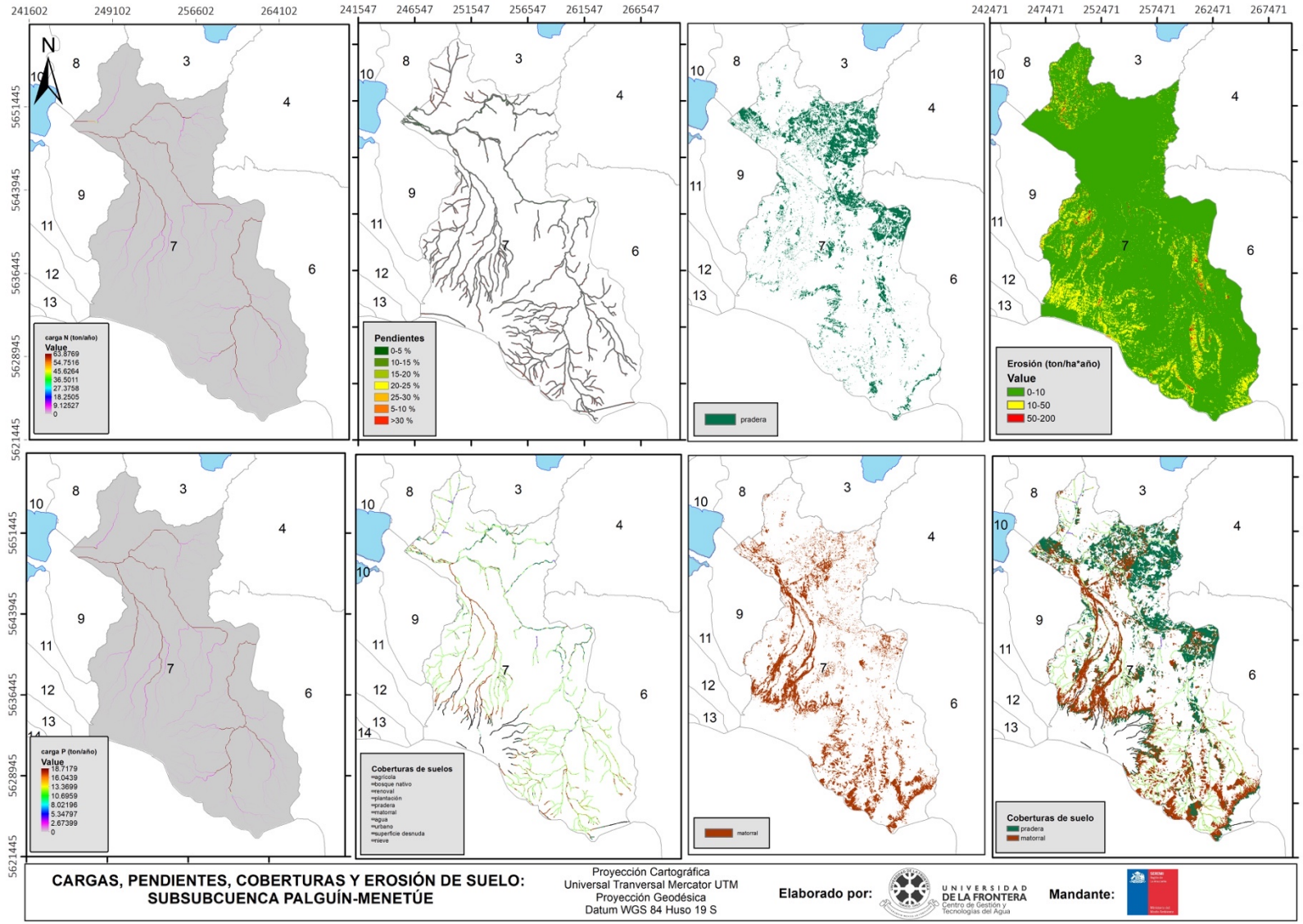
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



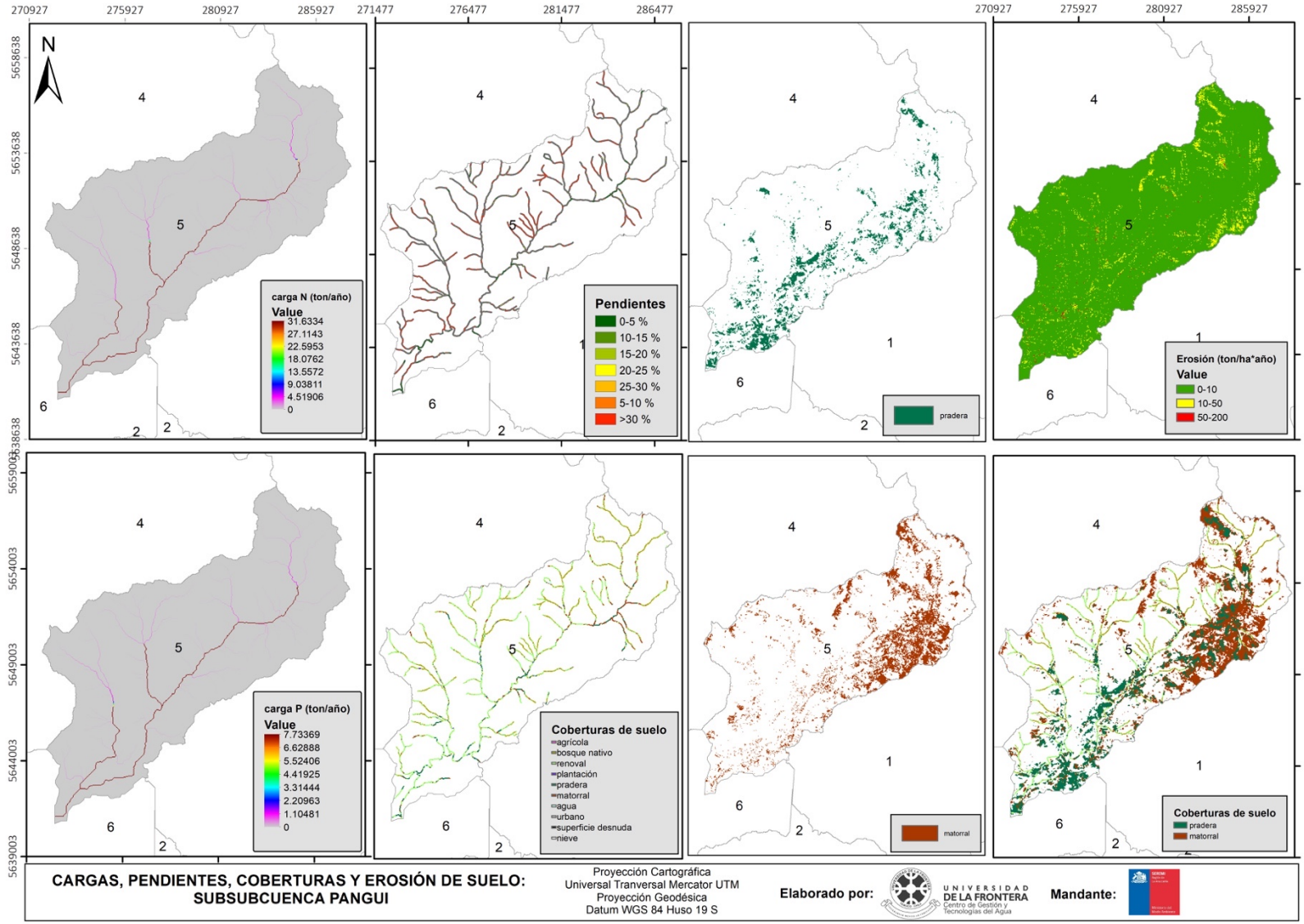
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



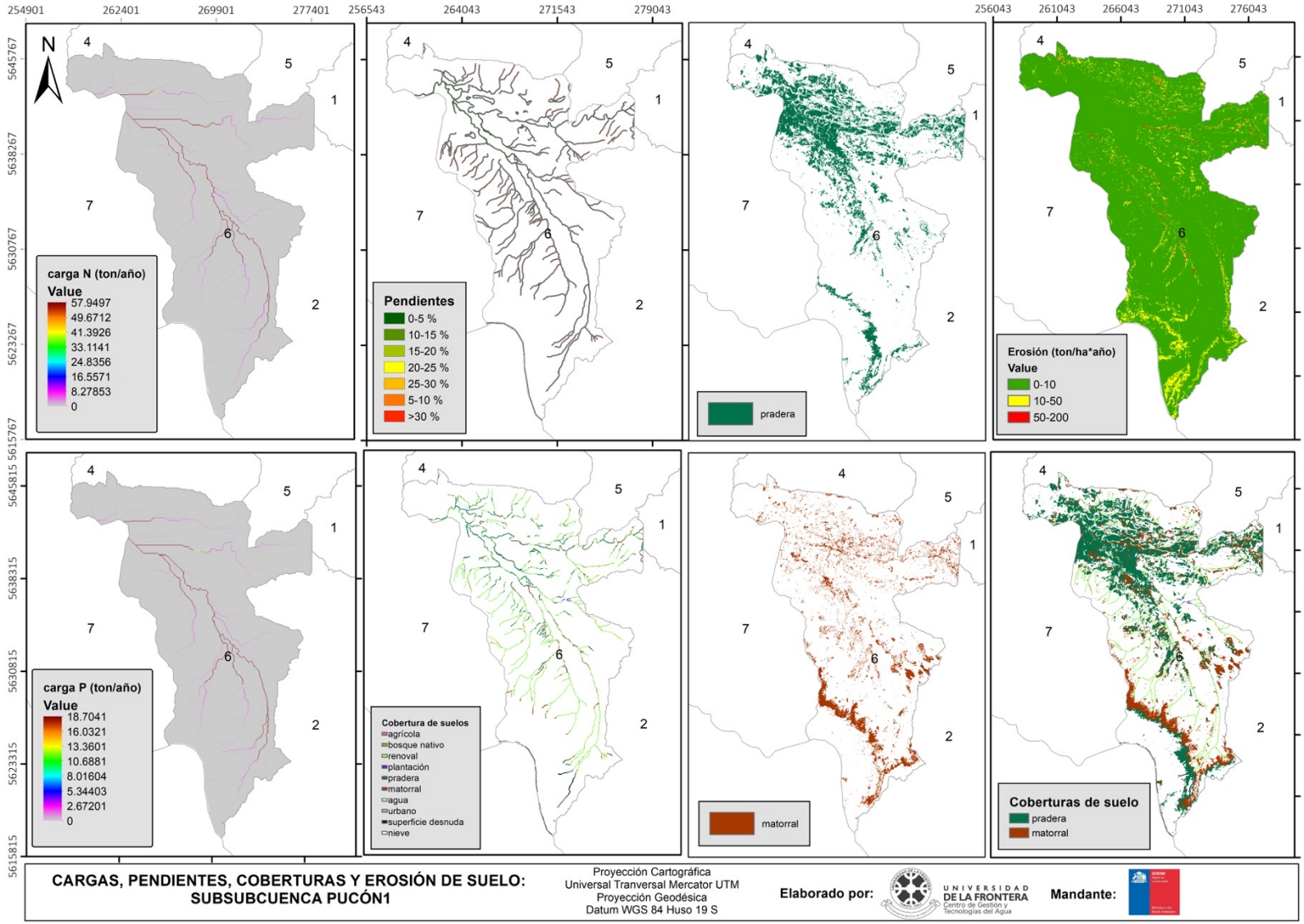
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



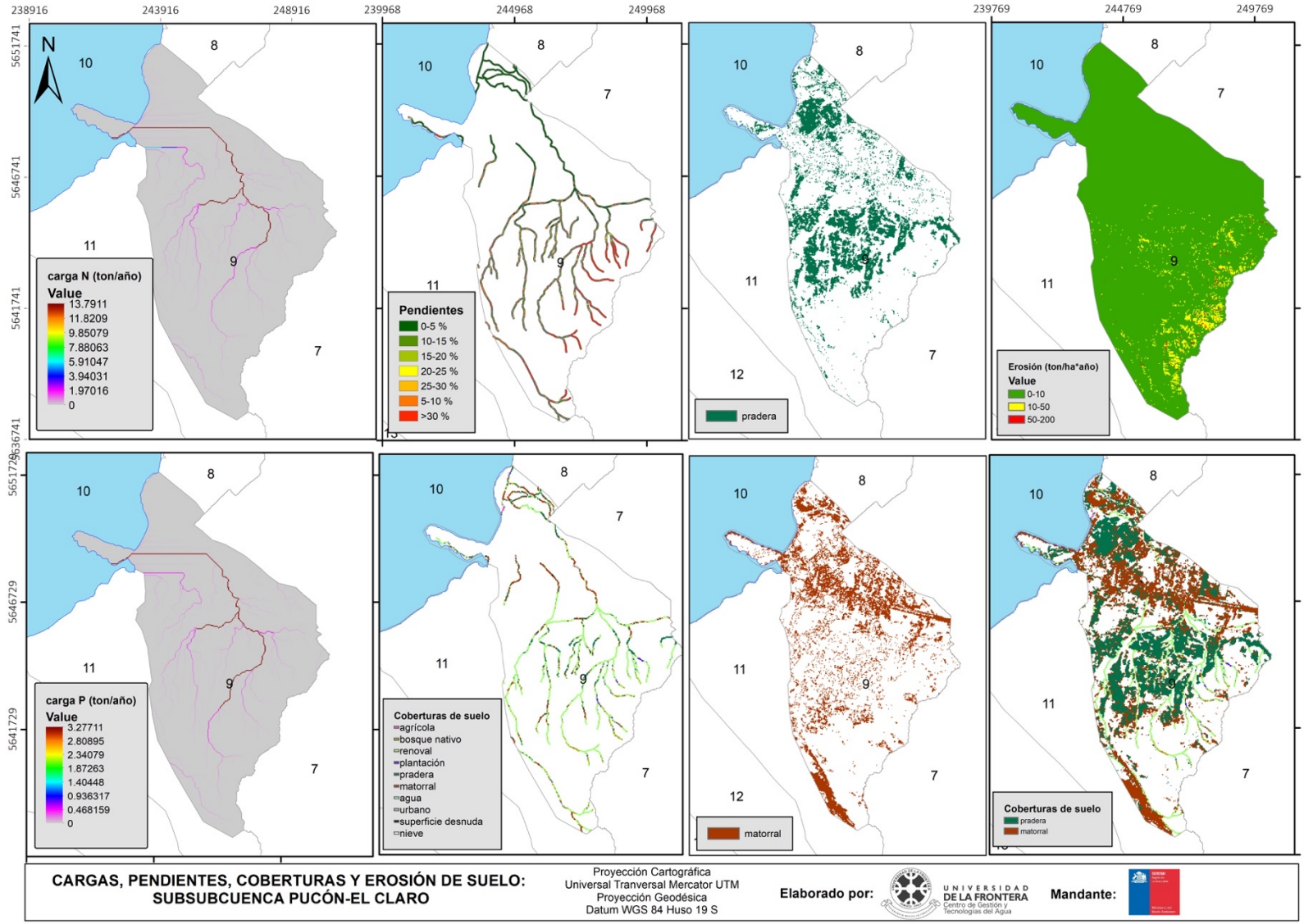
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



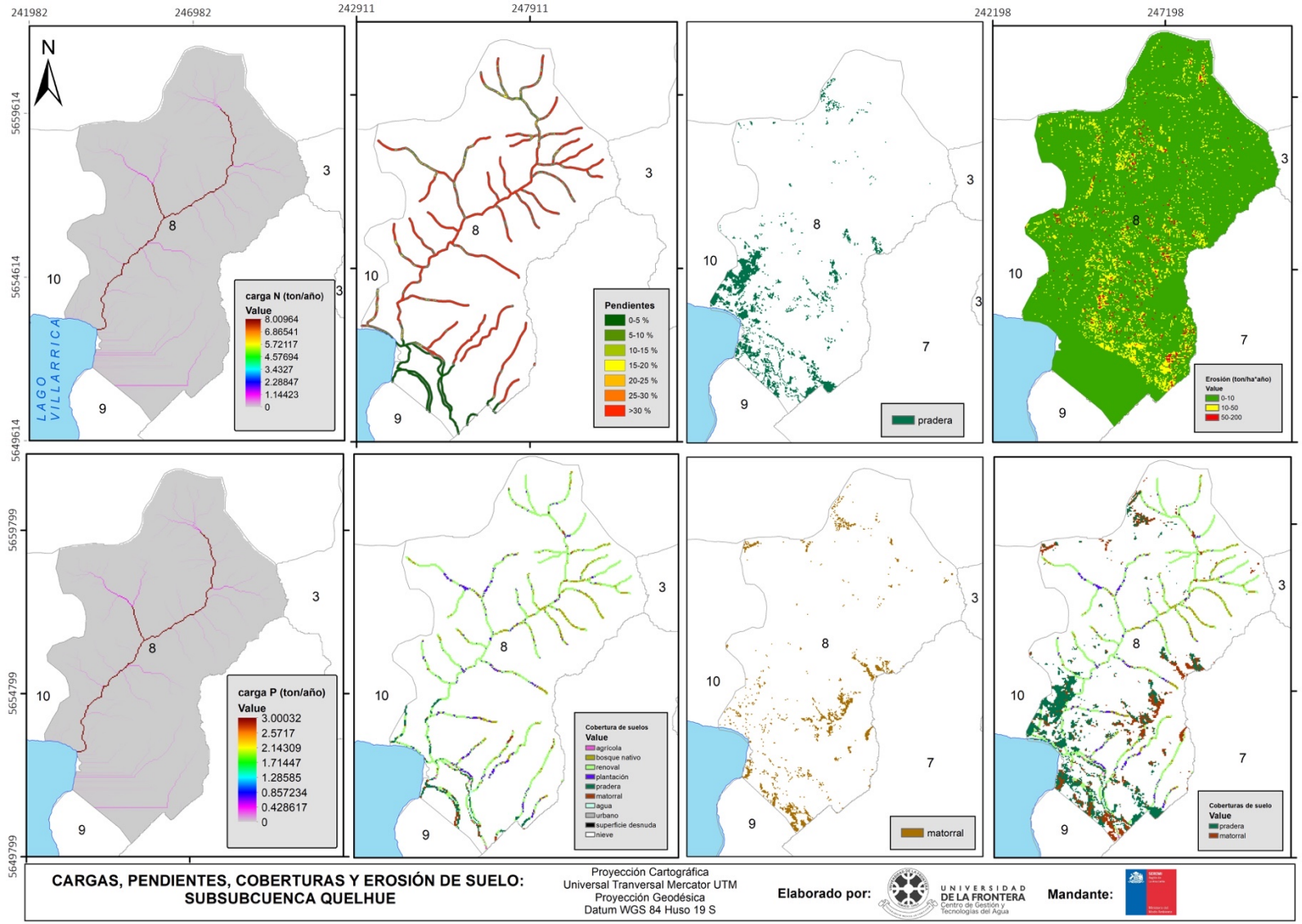
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



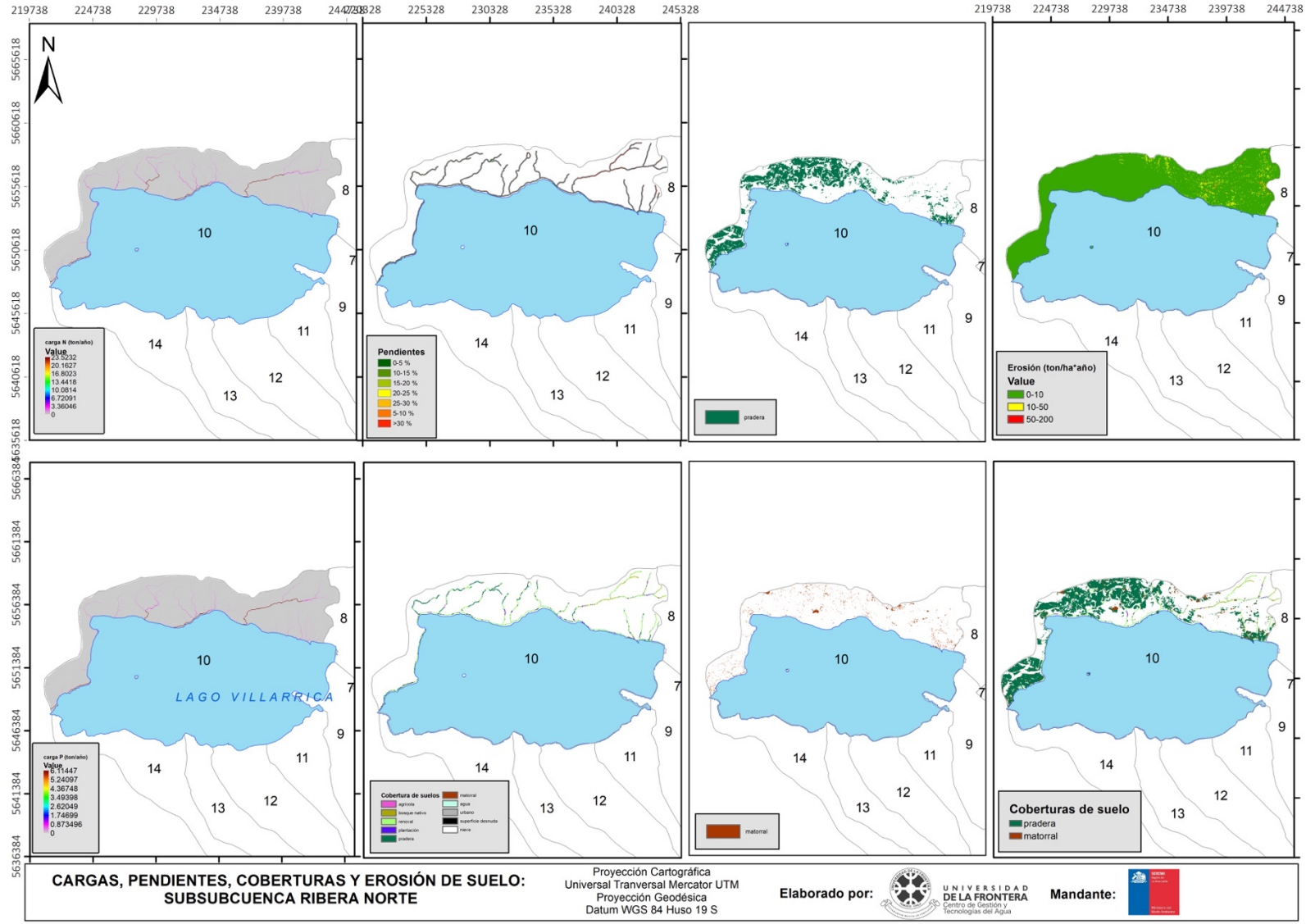
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



CARGAS, PENDIENTES, COBERTURAS Y EROSIÓN DE SUELO: SUBSUBCUENCA RIBERA NORTE

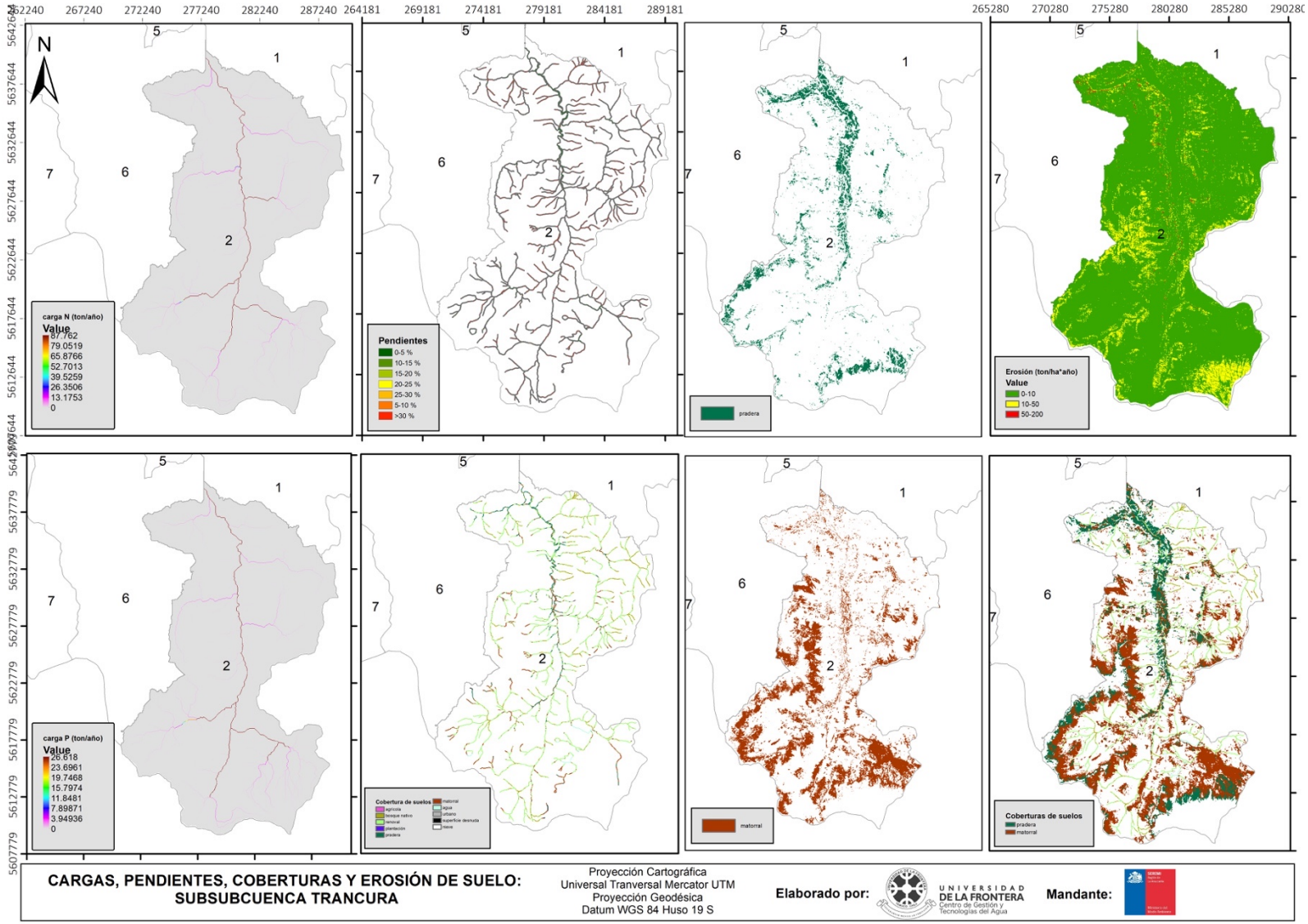
Proyección Cartográfica
Universal Tranversal Mercator UTM
Proyección Geodésica
Datum WGS 84 Huso 19 S

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

Mandante:

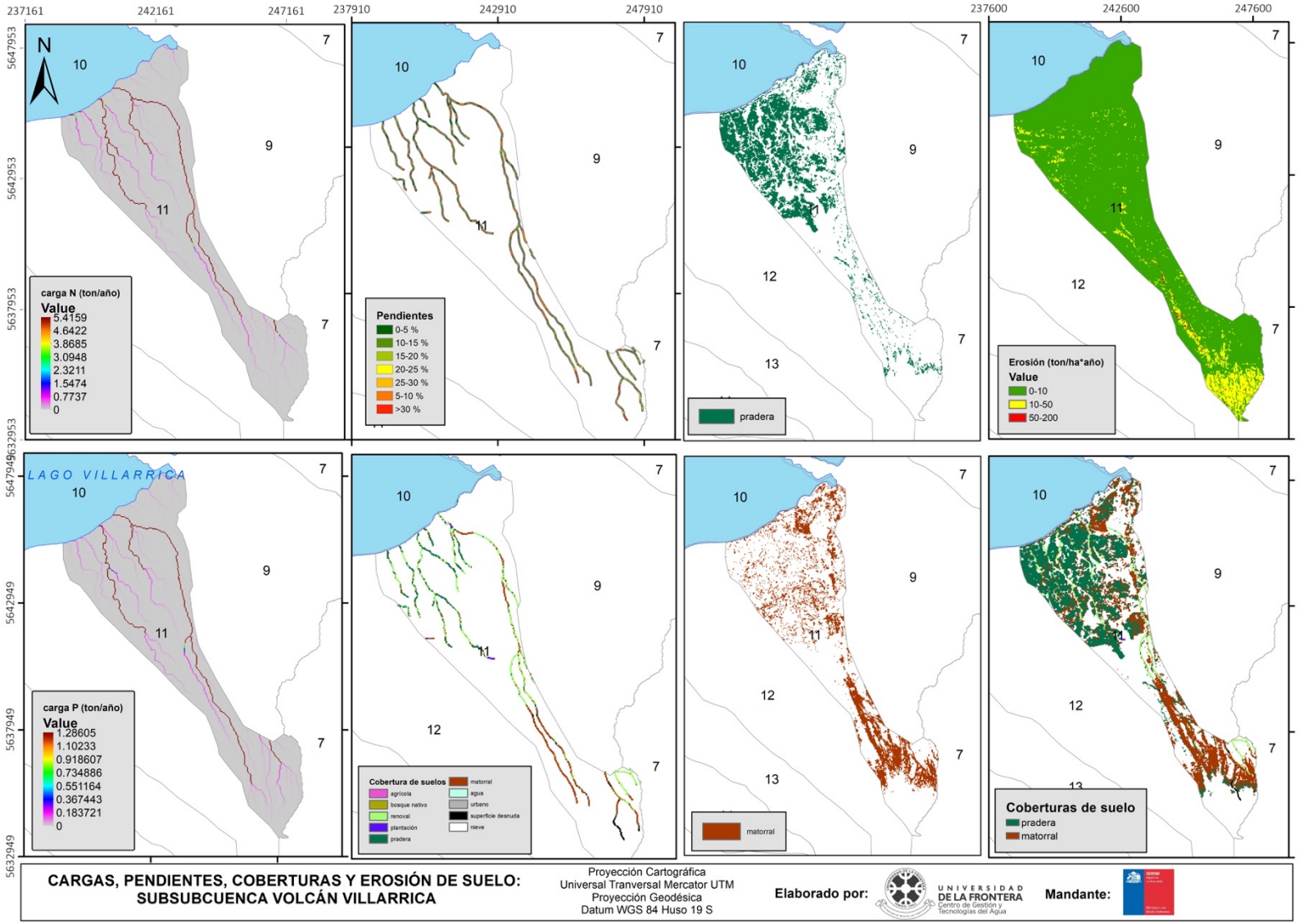
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



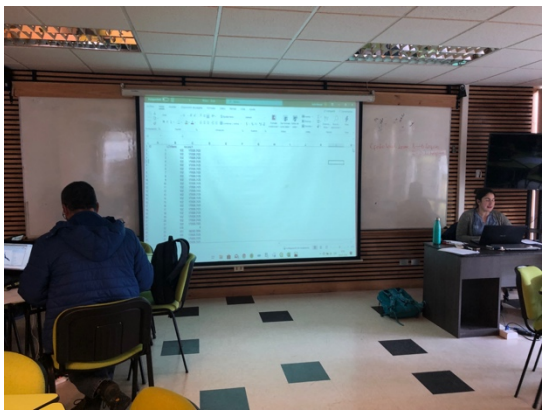
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua

13. ANEXO 7: Fotografías y asistencia a taller WASP y N-SPECT.

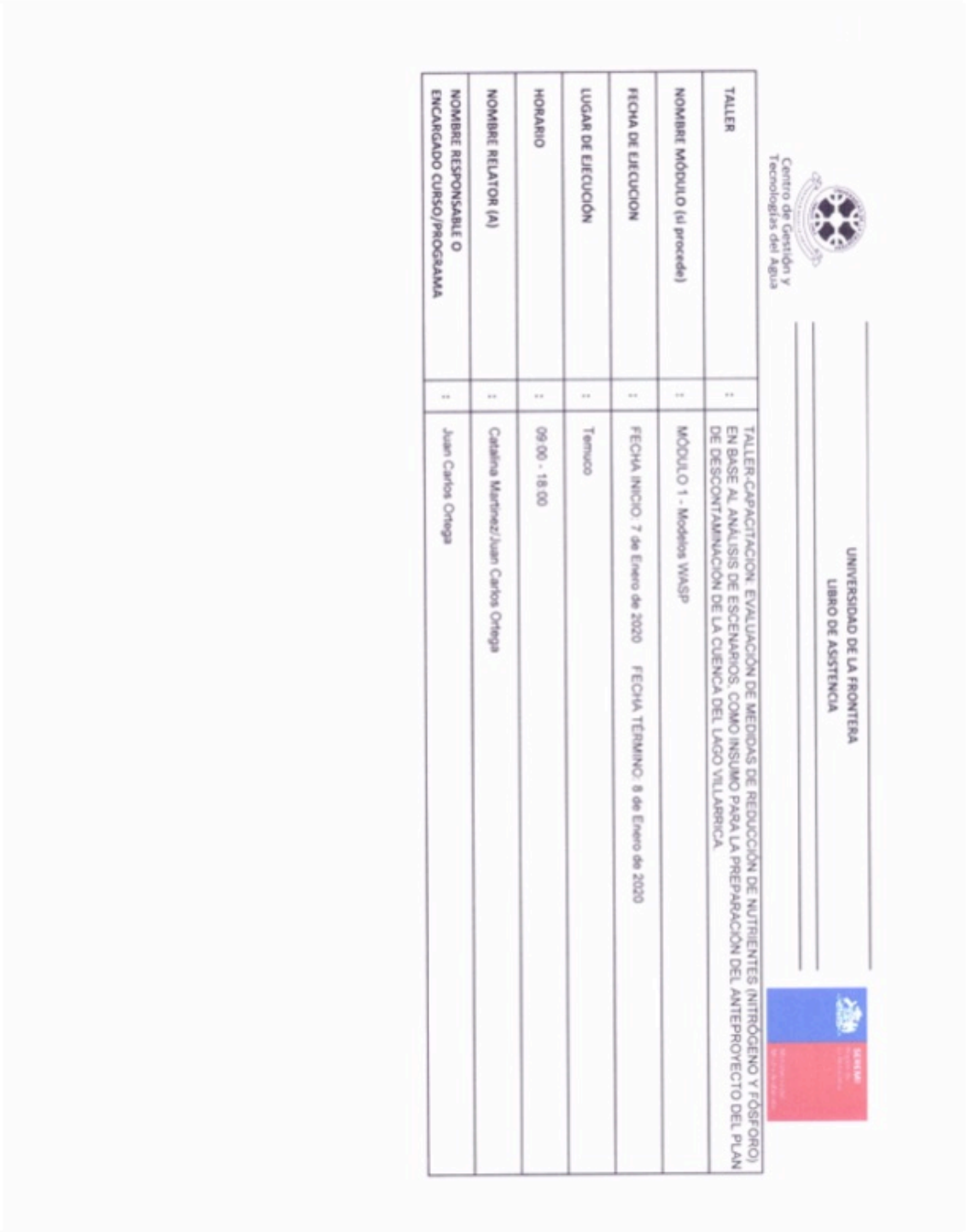




Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Avenida Francisco Salazar 01145,
Casilla Postal 54D, Fono: (56) 45 2325555, centrodelagua@ufrontera.cl, Temuco, Chile

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



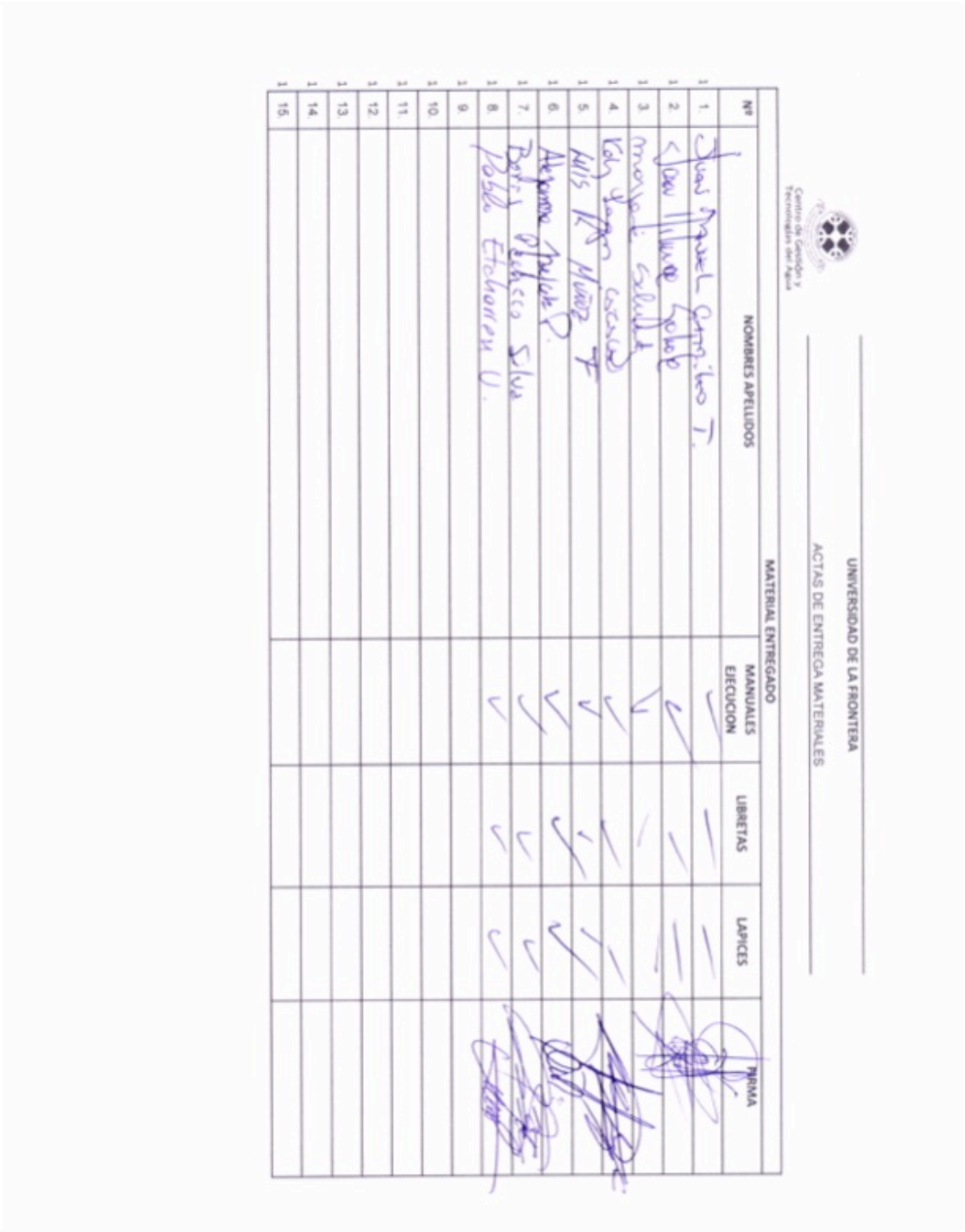
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
LIBRO DE ASISTENCIA

Centro de Gestión y Tecnologías del Agua

TALLER	::	TALLER-CAPACITACION: EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE REDUCCIÓN DE NUTRIENTES (NITRÓGENO Y FOSFORO) EN BASE AL ANÁLISIS DE ESCENARIOS, COMO INSUMO PARA LA PREPARACIÓN DEL ANTEPROYECTO DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA
NOMBRE MÓDULO (si procede)	::	MÓDULO 1 - Modelos WASP
FECHA DE EJECUCION	::	FECHA INICIO: 7 de Enero de 2020 FECHA TÉRMINO: 8 de Enero de 2020
LUGAR DE EJECUCIÓN	::	Temuco
HORARIO	::	09:00 - 18:00
NOMBRE RELATOR (A)	::	Catalina Martinez/Juan Carlos Ortega
NOMBRE RESPONSABLE O ENCARGADO CURSO/PROGRAMA	::	Juan Carlos Ortega

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



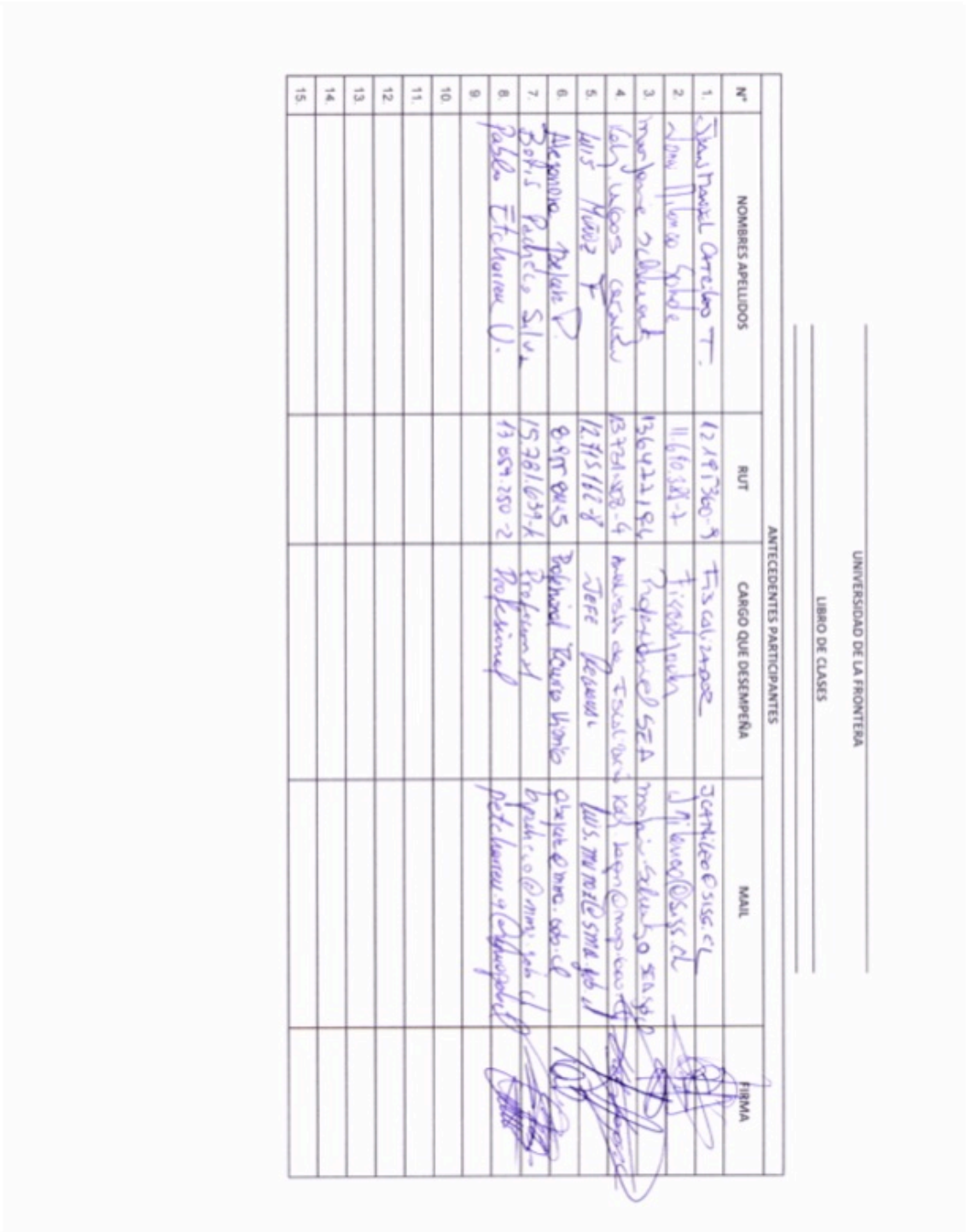
UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

ACTAS DE ENTREGA MATERIALES

Nº	NOMBRES APELLIDOS	MATERIAL ENTREGADO				
		MANUALES EJECUCION	LIBRETAS	LAPICES	PRIMA	
1.	Juan Manuel Santibañez T.	✓	✓	✓	✓	
2.	Juan Ulloa Zelada	✓	✓	✓	✓	
3.	Marcelo Salazar	✓	✓	✓	✓	
4.	Katy Yañez Cisternas	✓	✓	✓	✓	
5.	Luis R. Muñoz T.	✓	✓	✓	✓	
6.	Alejandra Pulgar P.	✓	✓	✓	✓	
7.	Boris Palacios Silva	✓	✓	✓	✓	
8.	Pablo Echeverry U.	✓	✓	✓	✓	
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA

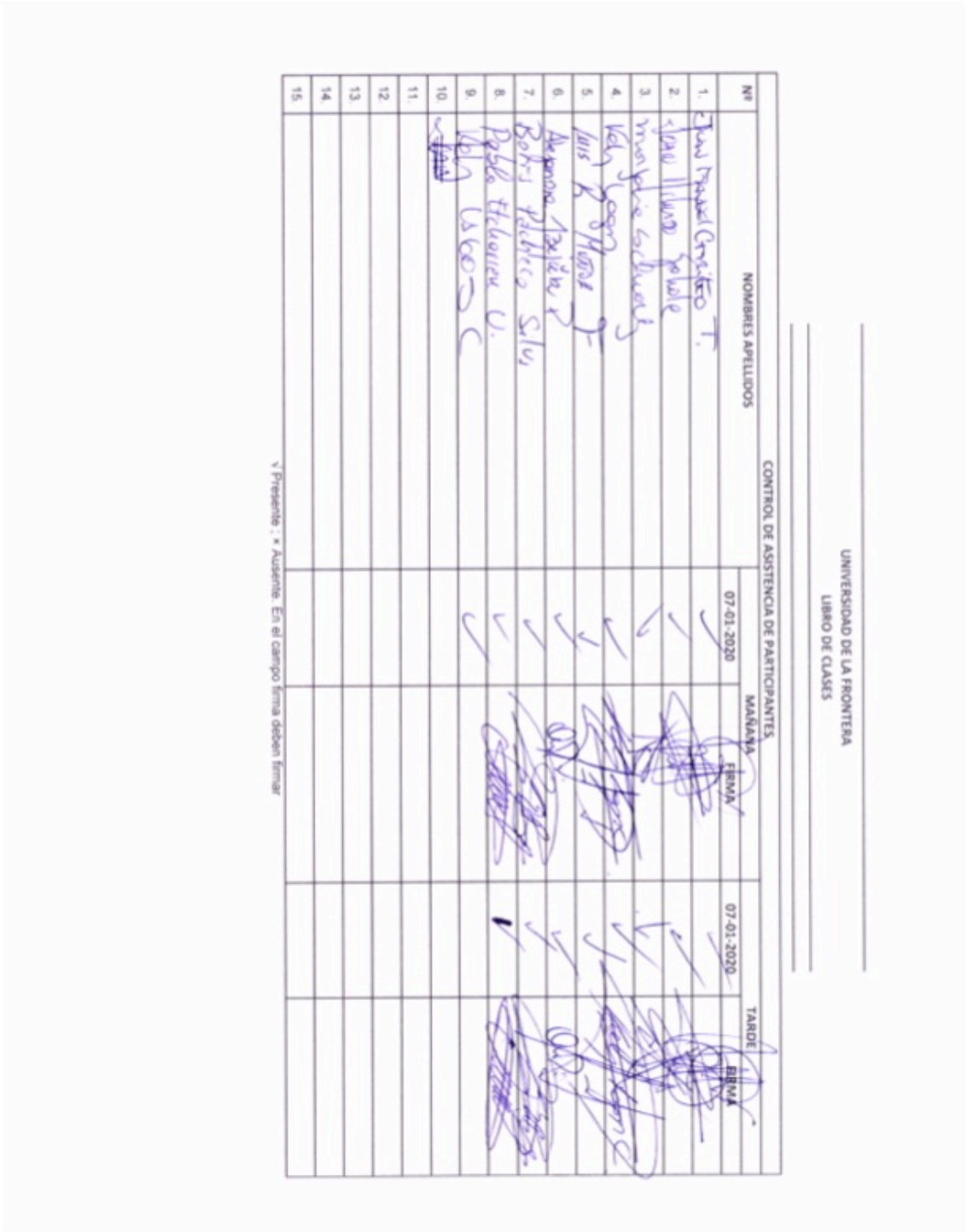
LIBRO DE CLASES

ANTECEDENTES PARTICIPANTES

N°	NOMBRES APELLIDOS	RUT	CARGO QUE DESEMPEÑA	MAIL	FIRMA
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
LIBRO DE CLASES

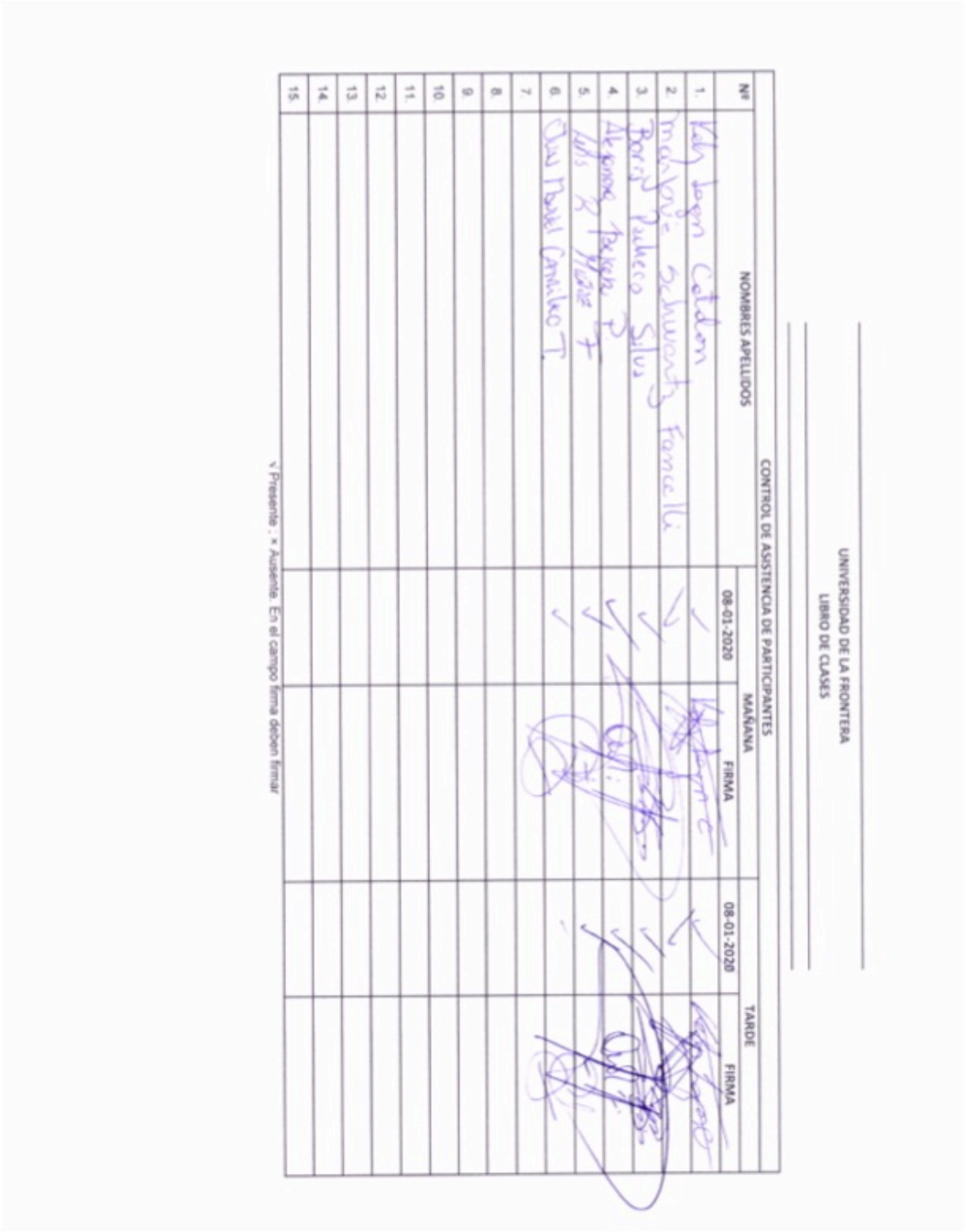
CONTROL DE ASISTENCIA DE PARTICIPANTES

Nº	NOMBRES APELLIDOS	07-01-2020 MAÑANA FIRMA	07-01-2020 TARDE FIRMA
1.	[illegible]		
2.	[illegible]		
3.	[illegible]		
4.	[illegible]		
5.	[illegible]		
6.	[illegible]		
7.	[illegible]		
8.	[illegible]		
9.	[illegible]		
10.	[illegible]		
11.			
12.			
13.			
14.			
15.			

√ Presente ; × Ausente. En el campo firma deben firmar

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

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
Centro de Gestion y Tecnologías del Agua



UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA
LIBRO DE CLASES

CONTROL DE ASISTENCIA DE PARTICIPANTES

Nº	NOMBRES APELLIDOS	MAÑANA 08-01-2020	MAÑANA FIRMA	TARDE 08-01-2020	TARDE FIRMA
1.	Kelly Joan Celedon				
2.	Madyori Schwantz Fonce Ili				
3.	Boris Pacheco Silva				
4.	Alejandra Parra P.				
5.	Luis R. Mora P.				
6.	Jan Daniel Carrillo T.				
7.					
8.					
9.					
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

√ Presente ; × Ausente. En el campo firma deben firmar

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