

## LEYES, REGLAMENTOS, DECRETOS Y RESOLUCIONES DE ORDEN GENERAL

Núm. 44.524

Jueves 13 de Agosto de 2026

Página 1 de 40

## Normas Generales

CVE 2852309

## MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

## APRUEBA PLAN DE DESCONTAMINACIÓN POR CLOROFILA “A”, TRANSPARENCIA Y FÓSFORO DISUELTO, PARA LA CUENCA DEL LAGO VILLARRICA

Núm. 12.- Santiago, 8 de mayo de 2025.

Vistos:

Lo establecido en la Constitución Política de la República de Chile, en sus artículos 19 N° 8 y 32 N° 6, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el decreto supremo N° 100, de 2005, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; en la ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente; en la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el decreto con fuerza de ley N° 1-19.653, de 2000, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia; en la ley N° 19.880, que establece Bases de los Procedimientos Administrativos que rigen los actos de los Organos de la Administración del Estado; en la ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático; en la ley N° 21.600 que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas; en la ley N° 20.998, que regula los servicios sanitarios rurales; en el decreto supremo N° 39, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba el reglamento para la dictación de planes de prevención y de descontaminación; en el decreto supremo N° 19, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, que establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica; en el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, que declara zona saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, a la cuenca del Lago Villarrica; en el decreto supremo N° 45, de 2021, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que aprueba reglamento de acuicultura de pequeña escala; en el decreto supremo N° 4, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas; en la resolución exenta N° 671, de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que dicta el programa de medición y control de la calidad ambiental del agua para las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica; en la resolución exenta N° 1.066, de 2018, del Ministerio del Medio Ambiente, que da inicio al proceso de elaboración del Plan Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en la resolución exenta N° 158, de 2019, del Ministerio del Medio Ambiente, que constituye Comité Operativo para la elaboración del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en la resolución exenta N° 1.191, de 2019, del Ministerio del Medio Ambiente, que constituye Comité Operativo Ampliado para la elaboración del Plan Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en las resoluciones exentas N° 1.451 de 2019 y N° 301 de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente, que Amplían el plazo para la elaboración del anteproyecto del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en la resolución exenta N° 437, de 2020, del Ministerio del Medio Ambiente, que aprueba anteproyecto del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en la resolución exenta N° 1.254, de 2021, del Ministerio del Medio Ambiente, que dispone la realización de un proceso de consulta a pueblos indígenas, inicia procedimiento administrativo y convoca al proceso, en el marco de la elaboración del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en las resoluciones exentas N° 6 de 2022, N° 1.238 de 2022, N° 1.067 de 2023, y 4.870 de 2024, todas del Ministerio del Medio Ambiente, que amplían plazo para la elaboración del proyecto definitivo del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; la opinión del Consejo Consultivo Nacional del Ministerio del Medio Ambiente que consta en el acta de sesión N° 2 de 2021; en la resolución exenta N° 4.022, de 2024, del Ministerio del Medio Ambiente, que declara el cierre del proceso de consulta indígena en el marco de la elaboración del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia

CVE 2852309

Director: Giovanni Calderón Bassi  
Sitio Web: [www.diarioficial.cl](http://www.diarioficial.cl)Mesa Central: 600 712 0001 E-mail: [consultas@diarioficial.cl](mailto:consultas@diarioficial.cl)  
Dirección: Dr. Torres Boonen N°511, Providencia, Santiago, Chile.

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la ley N°19.799 e incluye sellado de tiempo y firma electrónica avanzada. Para verificar la autenticidad de una representación impresa del mismo, ingrese este código en el sitio web [www.diarioficial.cl](http://www.diarioficial.cl)

y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica; en el Acta de la Sesión Ordinaria N° 1, de 29 de enero de 2025, del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático; en el Acuerdo N° 1, de 29 de enero de 2025, del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático; en la resolución N° 36, de 2024, de la Contraloría General de la República, que fija normas sobre exención del trámite de toma de razón; en los demás antecedentes fundantes; y,

Considerando:

1) Que, conforme al literal n) del artículo 70 de la ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (“ley N° 19.300”), corresponderá al Ministerio del Medio Ambiente (“Ministerio”) coordinar el proceso de generación de las normas de calidad ambiental, de emisión y de planes de prevención y, o descontaminación, determinando los programas para su cumplimiento.

2) Que, conforme al literal w) del artículo 2° de la ley N° 19.300, los planes de descontaminación corresponden a instrumentos de gestión ambiental que, a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tienen por finalidad recuperar los niveles establecidos en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona calificada como saturada por uno o más contaminantes.

3) Que, el artículo 44 de la ley N° 19.300 dispone que el cumplimiento de los planes de prevención y/o de descontaminación será obligatorio en las zonas calificadas como latentes o saturadas, respectivamente. La elaboración de estos planes y su proposición a la autoridad competente para su establecimiento corresponderá al Ministerio, previo informe de la Secretaría Regional Ministerial respectiva.

4) Que, mediante el decreto supremo N° 39, del 30 de octubre de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, se aprobó el reglamento para la dictación de planes de prevención y de descontaminación (“reglamento”).

5) Que, en lo específico para la cuenca del Lago Villarrica, mediante decreto supremo N° 19, de 2013, del Ministerio, se establecieron las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica (“NSCA Lago Villarrica”).

6) Que, por su parte, mediante decreto supremo N° 43, de 19 de octubre de 2017, del Ministerio, publicado en el Diario Oficial el 6 de agosto de 2018, se declaró como zona saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, a la cuenca del Lago Villarrica.

7) Que, el artículo 3° del reglamento señala que la elaboración de los planes de prevención y/o de descontaminación deberá contemplar el desarrollo de estudios científicos, análisis técnico y económico, consultas a organismos competentes, públicos y privados, y análisis de las observaciones formuladas. Para tales efectos, las etapas consecutivas dentro del proceso de elaboración de un plan corresponden a: i) elaboración de un anteproyecto de plan, desarrollo de estudios científicos y análisis técnico económico; ii) realización de consulta pública, y, iii) análisis de las observaciones formuladas y elaboración de proyecto definitivo del plan. Con posterioridad, el proyecto definitivo del plan será remitido al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, para su discusión y pronunciamiento. Emitido dicho pronunciamiento, el proyecto definitivo del plan será sometido a la consideración del Presidente de la República.

8) Que, en mérito de lo anterior, mediante resolución exenta N° 1.066, de 12 de noviembre de 2018, del Ministerio, publicada en el Diario Oficial el 16 de noviembre de 2018, se dio inicio al proceso de elaboración del Plan de Descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica (“PDA Lago Villarrica” o “PDA”).

9) Que, mediante resoluciones exentas N° 158, del 22 de febrero de 2019, y 1.191, del 1 de octubre de 2019, ambas del Ministerio, se constituyó el Comité Operativo y el Comité Operativo Ampliado, respectivamente, para la elaboración del PDA Lago Villarrica.

10) Que, posteriormente, mediante resoluciones exentas N° 1.451 de 2019 y N° 301 de 2020, el Ministerio amplió el plazo para la elaboración del anteproyecto del PDA Lago Villarrica.

11) Que, mediante Memorandum N° 185/2020, del 22 de mayo de 2020, se remite por parte de la División de Recursos Naturales y Biodiversidad del Ministerio a la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región de La Araucanía el Análisis General de Impacto Económico y Social (“AGIES”) del anteproyecto del PDA, conforme al artículo 9° del Reglamento.

12) Que, mediante resolución exenta N° 437, de 25 de mayo de 2020, el Ministerio aprobó el anteproyecto del PDA Lago Villarrica, abriendo el período de consulta pública.

13) Que, conforme consta en el Acta N° 2/2021 del Consejo Consultivo Nacional del Ministerio del Medio Ambiente, éste emitió su pronunciamiento respecto al anteproyecto del PDA Lago Villarrica.

14) Que, según consta en el expediente de la consulta pública del presente proceso, el Consejo Consultivo Regional del Medio Ambiente Región de La Araucanía, con fecha 21 de abril de 2021, emitió su pronunciamiento respecto al anteproyecto del PDA.

15) Que, conforme consta del expediente de consulta pública del anteproyecto del PDA, se recibieron observaciones de 124 personas naturales y jurídicas, las que al ser desglosadas suman en total 1.390 observaciones individuales, todas las cuales fueron respondidas y/o aclaradas por parte del Ministerio.



16) Que, mediante resolución exenta N° 1.254, de 5 de noviembre de 2021, el Ministerio dispuso la realización de un proceso de Consulta a Pueblos Indígenas sobre el PDA Lago Villarrica, convocándose para ello a la totalidad de las organizaciones representativas de los Pueblos Originarios presentes en la cuenca, según los registros de la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.

17) Que, el proceso antes referenciado se llevó a cabo con organizaciones del pueblo Mapuche que integran las comunas de Pucón, Villarrica y Curarrehue, y contempló la implementación total de las cinco etapas señaladas en el artículo 16 del decreto supremo N° 66, de 2013, del Ministerio de Desarrollo Social (“DS N° 66/2013”); siendo la definición de la metodología para cada etapa, los plazos, y los mecanismos de acuerdo y de debate, acordados con las comunidades y agrupaciones participantes, considerando siempre en el proceso la cosmovisión y vinculación que los pueblos indígenas expresaron respecto del Lago Villarrica.

18) Que, todas las personas e instituciones intervinientes en el proceso antes referenciado actuaron con sujeción al principio de buena fe, esto es, de manera leal y correcta con la finalidad de llegar a un acuerdo o lograr el consentimiento previo, libre e informado en el marco del procedimiento reglado, mediante un diálogo sincero, de confianza y de respeto mutuo, sin presiones, de manera transparente, generando las condiciones necesarias para su desarrollo y con un comportamiento responsable.

19) Que, debido a la realización del proceso de consulta a Pueblos Indígenas, mediante las resoluciones exentas N° 6 de 2022, N° 1.238 de 2022, N° 1.067 de 2023, y N° 4.870 de 2024, el Ministerio amplió el plazo para la elaboración del proyecto definitivo del PDA Lago Villarrica.

20) Que, conforme al acta de acuerdos y desacuerdos del proceso de consulta indígena, de fecha 3 y 5 de junio de 2024, es posible apreciar que se realizaron 100 observaciones, llegando a 48 acuerdos y 52 desacuerdos con el Estado, siendo los acuerdos de carácter vinculante, e influyendo parte de ellos, en la elaboración del proyecto definitivo del PDA Lago Villarrica. Tanto el acta de acuerdos y desacuerdos, como las diversas materias asociadas al proceso de consulta indígena se encuentran disponibles en el “Informe Final de Sistematización Proceso de Consulta Indígena anteproyecto del plan de descontaminación por Clorofila “A”, Transparencia y Fósforo Disuelto, de la cuenca del Lago Villarrica”, del Ministerio.

21) Que, mediante resolución exenta N° 4.022, de 28 de agosto de 2024, el Ministerio declaró el cierre del proceso de consulta indígena en el marco de la elaboración del PDA Lago Villarrica.

22) Que, considerando el anteproyecto del PDA Lago Villarrica, las observaciones acogidas en el período de consulta pública desarrollado durante el año 2021, las observaciones del Comité Operativo y Comité Operativo Ampliado, los pronunciamientos del consejo consultivo nacional y regional, del proceso de Consulta Indígena desarrollado entre los años 2022 y 2024, las actualizaciones normativas pertinentes y las actualizaciones necesarias por el espacio temporal desde el anteproyecto, el Ministerio elaboró el proyecto definitivo del instrumento.

Conforme al mérito de lo anterior, existen diferencias entre el anteproyecto del PDA y el proyecto definitivo, explicadas en los siguientes documentos, y disponibles en el expediente de elaboración del instrumento:

- a) Minuta Técnica “Modificaciones anteproyecto para elaboración de proyecto definitivo plan de descontaminación por clorofila “a” transparencia y fósforo disuelto”, de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de La Araucanía, en colaboración con el departamento de ecosistemas acuáticos de la División de Recursos Naturales y Biodiversidad del Ministerio del Medio Ambiente.
- b) Minuta Técnica “Actualización minuta técnica del “Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica”, de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente, Región de La Araucanía, en colaboración con el departamento de ecosistemas acuáticos de la División de Recursos Naturales y Biodiversidad del Ministerio del Medio Ambiente.

23) Que, con el objeto de dotar de la debida fundamentación a la aprobación del proyecto definitivo del PDA Lago Villarrica, se tuvo que actualizar el AGIES en enero de 2025, el que comprende el análisis del efecto que tendrán las medidas del PDA en la reducción de la emisión, los efectos sobre la calidad del agua en el Lago Villarrica, los costos que implica la implementación de estas medidas y los beneficios atribuibles a mejorar la calidad del agua del lago, considerando la situación actual y la situación con el PDA implementado.

24) Que, en particular, la necesidad de actualizar el AGIES tiene su fundamento en que el proyecto definitivo del PDA presenta diferencias respecto al AGIES del anteproyecto publicado el año 2020, el que, en todo caso, se trata de un análisis que únicamente tiene carácter referencial para el Ministerio. Luego, teniendo el proyecto definitivo modificaciones que influyen en los resultados de las medidas, y, además, debido a la extensión de la consulta pública e indígena (4 años), se hizo necesario actualizar los valores reportados en el anteproyecto. Estos cambios corresponden a cambios en las medidas, pero no significan cambios metodológicos para la evaluación, los cuales se mantienen respecto al anteproyecto.

25) Que, el Ministerio remitió el proyecto definitivo del PDA al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático, para su pronunciamiento. Para dicho pronunciamiento, se remitió previamente el proyecto definitivo del PDA a los diversos órganos que componen el Consejo

de Ministros, con el objeto de que pudieran conocer la propuesta, y formular observaciones y/o comentarios, todo en el marco del principio de coordinación administrativa. El resultado de dichas discusiones se acompaña en la Minuta: “Trazabilidad de cambios en las principales medidas del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica”, de enero de 2025.

26) Que, por Acuerdo N° 1, de fecha 29 de enero de 2025, el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático se pronunció favorablemente sobre el Plan de Descontaminación.

27) Que, con el mérito de todo lo anterior:

Decreto:

Apruébase el Plan de Descontaminación por Clorofila “a”, Transparencia y Fósforo disuelto para la cuenca del Lago Villarrica, Región de la Araucanía, que es del siguiente tenor:

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES GENERALES

**Artículo 1.-** El presente Plan de Descontaminación (en adelante, “Plan”), regirá en la zona declarada saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto en la cuenca del Lago Villarrica, cuyos límites corresponden a los señalados por el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, graficados en la Figura 1, y tiene por objetivo dar cumplimiento a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica, en un plazo de 15 años, prorrogables.

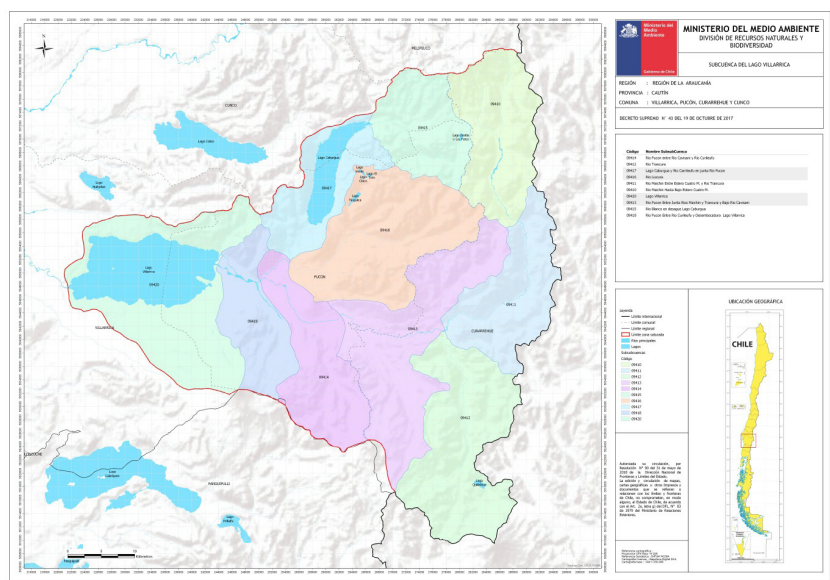


Figura 1. Mapa de la cuenca del Lago Villarrica.

Como es posible apreciar, el Plan recae sobre la cuenca del Lago Villarrica. Así, debe efectuarse una distinción clara entre lo que es cuenca y lago. Por cuenca, podemos entender un área geográfica integrada y drenada por un único sistema hidrológico<sup>1,2</sup>. Por su parte, los lagos son parte de una cuenca y forman reservorios de agua provenientes de afluentes y, usualmente, son zonas geográficas de una alta biodiversidad que aportan diversos servicios ecosistémicos. En este sentido, la cuenca, y los lagos que estas pueden comprender, deben considerarse íntegramente para efectos de política pública respecto a calidad de aguas, pues, para adoptar medidas que impacten de manera efectiva sobre un cuerpo lacustre, es necesario abordar la totalidad de las subsubcuencas que drenan hacia éste<sup>3</sup>.

Específicamente, en relación con los lagos, se debe indicar que responden lentamente a los cambios que ocurren en ellos, siendo la tasa promedio de residencia o recambio de estos ecosistemas, de 17 años<sup>4</sup>. Esto dificulta enormemente las medidas para su protección o recuperación. En el caso del Lago Villarrica, el tiempo de renovación hidráulico (TRH), ha sido estimado entre 2 y 4 años, el que se considera un

<sup>1</sup> ILEC (2005). Managing Lakes and their Basins for Sustainable Use: A Report for Lake Basin Managers and Stakeholders. International Lake Environment Committee Foundation: Kusatsu, Japan.

<sup>2</sup> UNEP-PHI-Unesco (2012). Integrated Watershed Management Phytotechnology - Manual - ISBN: 92-9220- 011-9.

<sup>3</sup> Un ejemplo exitoso de gestión ambiental de lagos es el Lago Constanza en Alemania, que involucra acciones que integran a los lagos y sus afluentes como unidades indivisibles en la preservación y recuperación de estos cuerpos de agua.

<sup>4</sup> ILEC (2005). Managing Lakes and their Basins for Sustainable Use: A Report for Lake Basin Managers and Stakeholders. International Lake Environment Committee Foundation: Kusatsu, Japan.

periodo de rápido recambio en comparación con el promedio mundial. Por otro lado, el Lago Villarrica es un cuerpo de agua dinámico debido a la magnitud de su área de drenaje (2.805 km<sup>2</sup> que equivalen a 16 veces el tamaño del lago), a una tasa de renovación alta y a un bajo transporte de nutrientes desde la atmósfera hacia el lago<sup>5</sup>. En base a estos conceptos, se releva la importancia de otro aspecto que está relacionado directamente a la dinámica de un lago, el cual tiene que ver con el tiempo de renovación de nutrientes y su relación con la renovación hidráulica. En específico, el periodo de ciclado de nutrientes en un lago puede ser de cuatro a cinco veces mayor que el tiempo de renovación hidráulico.

Estas características propias del lago, es decir, su renovación hidráulica y ciclado de nutrientes, dan lugar a que este ecosistema deba ser protegido mediante acciones y medidas ambientales enfocadas en regular las emisiones a los cauces de la cuenca, así como acciones, obras y/o actividades que indirectamente pueden afectar la calidad de sus aguas, buscando desacelerar el proceso de eutrofización en el que actualmente se encuentra el Lago Villarrica.

En síntesis, respecto a las emisiones que ingresan al Lago Villarrica, las estimaciones de contaminación por nutrientes determinadas a partir de la última actualización del inventario de emisiones desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente<sup>6</sup> indican que la suma de todos los aportes al lago, tanto de fuentes puntuales como difusas (naturales y antrópicas), alcanzan 270,5 Ton/año de fósforo total y 1183,9 Ton/año de nitrógeno total. De acuerdo con esta estimación, para el caso del fósforo la carga actual es 1,33 veces mayor que su capacidad de carga crítica<sup>7</sup>. Bajo estos parámetros es que la condición de saturación se ha propiciado en este ecosistema, activando los mecanismos por los cuales permiten intervenir hacia su recuperación.

El Plan, como instrumento de gestión ambiental, busca recuperar los niveles señalados en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales del Lago Villarrica. En virtud de ello, considera la implementación de medidas que permitan reducir el ingreso de nutrientes contaminantes a la cuenca del Lago Villarrica, tales como el saneamiento de aguas servidas en áreas rurales y urbanas, la retención de nutrientes y sedimentos a través de forestación, reforestación y restauración de la vegetación ripariana, una norma de emisión por carga de fósforo total para el sector acuícola, una norma de emisión para las plantas de tratamiento de aguas servidas, entre otras medidas de gestión destinadas a proteger y mantener los servicios ecosistémicos provistos por el sistema lacustre.

**Artículo 2.-** Los antecedentes que fundamentan el presente Plan se indican a continuación:

Antecedentes y Descripción de la Zona Saturada

1. Descripción de la zona geográfica de la cuenca del Lago Villarrica

La cuenca del Lago Villarrica está constituida por una serie de afluentes al lago y un afluente principal denominado Río Trancura, el que aporta cerca del 90% de las aguas de escorrentía que el lago recibe, y resulta ser el principal aportante de contaminación por nutrientes provenientes de las subcuencas del Lago Villarrica.

El Lago Villarrica es una subcuenca de la cuenca del Río Toltén que tiene una superficie de 2.805 km<sup>2</sup> y abarca las comunas de Villarrica, Pucón, Curarrehue y Cunco. Esta cuenca incluye dos cuerpos lacustres principales, el Lago Villarrica y el Lago Caburgua. El Lago Villarrica es un cuerpo de agua léntico monomítico, con mezcla vertical durante el invierno y tiempo de renovación hidráulico de entre 2 a 4 años. Presenta una morfometría simple y una buena mezcla del cuerpo de agua en la zona pelagial (centro). El área pelagial comienza en una profundidad de 20-30 m, hasta donde llega como máximo el 1% de la luz superficial, lo que se denomina la zona fótica y es la profundidad máxima hasta donde pueden crecer los macrófitos y también las algas. En base a este rango, la definición de las áreas de vigilancia del lago fue desarrollada tomando en consideración como límite de la zona litoral el veril 25.

2. Antecedentes demográficos de la cuenca

La población total en las comunas de la cuenca (Pucón, Cunco, Villarrica, Curarrehue), según Censo del año 2017<sup>8</sup>, alcanza las 109.016 personas, de las cuales 65.957 se encuentran en el área

<sup>5</sup> UACH (2008). Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Villarrica. Elaborado por la Universidad Austral de Chile. Informe desarrollado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Conama, financiado por el Gobierno Regional de La Araucanía.

<sup>6</sup> MMA (2020). Minuta “Inventario de emisiones Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica”. Disponible en [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Minuta\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_Carga\\_Critica\\_PDAV.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Minuta_Inventario_de_Emisiones_Carga_Critica_PDAV.pdf).

<sup>7</sup> Carga máxima que un lago puede recibir para mantener su condición de oligotrofia, caracterizada por presencia de baja biomasa fitoplanctónica en el agua, una alta transparencia del agua y una limitada concentración de nutrientes.

<sup>8</sup> INE (2018). Censo poblacional, 2017. Planilla cantidad de personas por edad y sexo.



urbana y 43.059 en el área rural. En la Tabla 1. se muestran datos del CENSO 2002 y CENSO 2017, con su respectiva tasa de variación intercensal. En la Tabla 2. se muestran los porcentajes de población urbana y rural de estas comunas.

Tabla 1. Población residente en comunas de la cuenca (Fuente: INE Censo 2002<sup>9</sup> y 2017<sup>10</sup>).

| Comuna                 | Población Residente |            |                 |                                       |
|------------------------|---------------------|------------|-----------------|---------------------------------------|
|                        | CENSO 2002          | CENSO 2017 | Proyección 2035 | Variación Intercensal (%) (2002-2017) |
| Villarrica             | 45.531              | 55.478     | 63.173          | 21,8                                  |
| Pucón                  | 21.107              | 28.523     | 32.053          | 35,1                                  |
| Curarrehue             | 6.784               | 7.489      | 7.864           | 10,4                                  |
| Cunco                  | 18.703              | 17.526     | 17.999          | -6,3                                  |
| Total                  | 92.125              | 109.016    | 121.089         | 18,3-                                 |
| Total Provincia Cautín | 667.920             | 752.100    | 845.021         | 12,6                                  |
| Total Región Araucanía | 869.535             | 957.224    | 1.061.056       | 10,1                                  |

Como se observa en la Tabla 1, las comunas de Pucón y Villarrica presentan un crecimiento poblacional por sobre la media de la provincia de Cautín y de la Región de La Araucanía, al analizar la variación intercensal. Por su parte, en la comuna de Cunco se ve un decrecimiento de la población. Respecto a la distribución urbana y rural, según los datos del Censo 2017, se aprecia lo siguiente:

Tabla 2 (Población y vivienda urbana y rural de las comunas de Villarrica (a), Pucón (b), Curarrehue c), y Cunco (d) (Fuente: INE, Censo poblacional, 2017<sup>11</sup>).

Tabla 2 (a) Población y vivienda urbana y rural de la comuna de Villarrica.

| Zona   | Villarrica    |      |              |      |
|--------|---------------|------|--------------|------|
|        | Nº Habitantes | %    | Nº Viviendas | %    |
| Urbana | 36.480        | 65,8 | 16.247       | 57,4 |
| Rural  | 18.998        | 34,2 | 12.041       | 42,6 |
| Total  | 55.478        | 100  | 28.288       | 100  |

Tabla 2 (b) Población y vivienda urbana y rural de la comuna de Pucón.

| Zona   | Pucón         |      |              |      |
|--------|---------------|------|--------------|------|
|        | Nº Habitantes | %    | Nº Viviendas | %    |
| Urbana | 18.354        | 64,4 | 10.527       | 56,5 |
| Rural  | 10.169        | 35,6 | 6.829        | 43,5 |
| Total  | 28.523        | 100  | 17.356       | 100  |

Tabla 2 (c) Población y vivienda urbana y rural de la comuna de Curarrehue.

| Zona   | Curarrehue    |      |              |      |
|--------|---------------|------|--------------|------|
|        | Nº Habitantes | %    | Nº Viviendas | %    |
| Urbana | 2.276         | 30,4 | 932          | 28,4 |
| Rural  | 5.213         | 69,6 | 2.349        | 71,6 |
| Total  | 7.489         | 100  | 3.281        | 100  |

Tabla 2 (d) Población y vivienda urbana y rural de la comuna de Cunco.

| Zona   | Cunco         |      |              |      |
|--------|---------------|------|--------------|------|
|        | Nº Habitantes | %    | Nº Viviendas | %    |
| Urbana | 8.847         | 50,5 | 3.460        | 43,1 |
| Rural  | 8.679         | 49,5 | 4.576        | 56,9 |
| Total  | 17.526        | 100  | 8.036        | 100  |

Como se observa en la Tabla 2, la comuna de Cunco tiene una población distribuida de forma equitativa entre el sector urbano y rural, mientras que en las comunas de Villarrica y Pucón predomina la población en área urbana. Por el contrario, en el caso de la comuna de Curarrehue, que tiene un mayor porcentaje de la población en la zona rural, alcanzando un 69,6% del total.

<sup>9</sup> INE (2002). Censo 2002. Instituto Nacional de Estadísticas. Chile.  
<sup>10</sup> INE (2018). Censo poblacional, 2017. Planilla cantidad de personas por edad y sexo.  
<sup>11</sup> INE (2018). Censo poblacional, 2017. Planilla cantidad de personas por edad y sexo.

Respecto a la población indígena existente en las comunas, según INE (2017)<sup>12</sup> la comuna de Curarrehue cuenta con una representación territorial de población indígena de un 66,4%, mientras que en las demás comunas de la cuenca (Villarrica, Pucón y Cunco), la representación de la población indígena se encuentra entre los 27,1% y 31,3%.

Tabla 3. Población indígena total de las comunas que componen la zona saturada de la cuenca del Lago Villarrica.

| Comuna     | Población Total. | Nº Habitantes indígenas | % Población indígena por comuna. | Nº Habitantes Pueblo Mapuche por comuna. |
|------------|------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
| Curarrehue | 7.489            | 4.946                   | 66,4%                            | 4.882                                    |
| Villarrica | 55.478           | 15.047                  | 27,1%                            | 14.528                                   |
| Pucón      | 28.523           | 7.959                   | 27,9%                            | 7.689                                    |
| Cunco      | 17.526           | 5.438                   | 31,3%                            | 5.297                                    |

Por otro lado, producto del aumento poblacional y el desarrollo de nuevas viviendas en el sector ribereño del Lago Villarrica (sur), existe una creciente presión sobre el lago al incorporar, de manera directa o a través de infiltración, aguas servidas sin un adecuado tratamiento, que aportan nutrientes contaminantes.

Asimismo, existe una gran presión sobre los recursos del área y sus ecosistemas acuáticos, debido a la población flotante que visita la zona por interés turístico (vacaciones de invierno y verano). De hecho, el 2022 se estimó una población flotante de 12.045 personas en Curarrehue, 1.395.188 personas para Villarrica y de 1.434.530 en Pucón <sup>13</sup>. Es importante señalar que el turismo es una actividad económica importante en la zona: un 28% de los chilenos opta por vacacionar en las comunas de Pucón y Villarrica<sup>14</sup>. En cuanto a su procedencia, del total de turistas que visitan las comunas de la cuenca del Lago Villarrica un 84,7% son chilenos y un 15,3% extranjeros, de acuerdo con el resumen de estadísticas de alojamiento turístico<sup>15</sup>.

El aumento poblacional en período estival se traduce en una fuerte presión de uso de la zona, por ejemplo, en la comuna de Pucón la población flotante en verano alcanza alrededor de un 50%, en Villarrica dicha población llega a alrededor de un 45%, y en Curarrehue y Cunco, menos de un 5%<sup>16, 17</sup>. Lo anterior genera un aumento del parque inmobiliario de la zona, y el impacto sobre los recursos naturales que alteran la calidad de los servicios ecosistémicos vinculados a los recursos naturales disponibles (agua, suelo, bosque nativo), incidiendo en la pérdida de la calidad de la oferta turística de la zona.

El Plan, con el fin de reducir la contaminación del lago, considera estos antecedentes, abordando medidas como el aumento de la cobertura de saneamiento en área rural y urbana y la educación ambiental de la ciudadanía, en relación con el control de la contaminación de la cuenca del Lago Villarrica.

2.1 Representación del pueblo mapuche en la cuenca del Lago Villarrica

La cuenca del Lago Villarrica, o Mallolafquen en Mapudungun, ha sido el espacio vital de comunidades Mapuche, las cuales se han desarrollado en torno al lago y en los valles cordilleranos que lo tributan. El paisaje característico marcado por la presencia de volcanes activos y lagos explican en gran medida la cultura simbólica de los pueblos Mapuche-Pehuenche, y posiblemente, también influyó en la identidad de los primeros grupos humanos que habitaron esta cuenca (Navarro et al., 2016).

Para el pueblo Mapuche el agua o “ko”, no solo es un elemento vital, es vida en sí misma, puesto que dota de cualidades que la hacen parte distinguible de otros elementos que se encuentran en la naturaleza. Se encuentra enraizada con la mapu y forma parte de un elemento esencial junto con el aire, fuego y tierra. Además, es un elemento de carácter sociocultural que se relaciona con actividades específicas como: vida cotidiana, uso recreativo, uso ganadero, ceremonias religiosas, uso para la salud, permiso de paso, we txipantu, etc. (Painemal, 2017).

Las relaciones que los habitantes de las cuencas han establecido con el agua son diversas. Por ejemplo, puede existir un acercamiento de carácter espiritual y/o emocional, o una aproximación utilitaria debido a su necesidad para el desarrollo de las actividades diarias en el lugar.

<sup>12</sup> INE (2017). Censo de población y vivienda 2017.  
<sup>13</sup> Subdere (2024). Informe. Diagnóstico y catastro nacional de residuos sólidos domiciliarios. <https://proactiva.subdere.gov.cl/handle/123456789/635>  
<sup>14</sup> Sernatur (2008). Destinos más visitados por turismo interno en el período diciembre 2007-marzo 2008.  
<sup>15</sup> Sernatur (2018). Estadísticas de Alojamiento Turístico por Comunas Año.  
<sup>16</sup> INE (2013). Informe anual de turismo. Visitado el 3 de febrero de 2020 en: <https://www.sernatur.cl/wp-content/uploads/2014/12/Turismo-Informe-Anual-2013.pdf>  
<sup>17</sup> Sernatur (2012). Estadísticas de Alojamiento Turístico por Comunas Año.

Finalmente, “todo está integrado en el itxofill mogen: la tierra, el agua, el aire y el fuego. Las cuatro fuerzas o energías de la naturaleza ante las cuales el mapuche jamás estará en contra y que constituyen el eje ordenador de las sanciones de la ética y la moral, se explicitan y analizan en el Az-Mapu como norma para cada vida y cada acción; y conlleva al nacimiento de los ritos, la base de la religión en el pueblo mapuche”.<sup>18</sup>

3. Servicios ecosistémicos, aporte de contaminación por nutrientes y biodiversidad

Los principales servicios ecosistémicos que han sido identificados en el sector corresponden a los que se indican en la Tabla 4, en donde se destacan servicios de aprovisionamiento, regulación y mantenimiento, culturales y soporte. La provisión de estos servicios tiene directa relación con la conservación y mantención de los ecosistemas presentes en la cuenca aportante y el espejo de agua del Lago Villarrica.

Tabla 4. Servicios Ecosistémicos de la cuenca del Lago Villarrica<sup>19</sup>.

| CATEGORÍA                  | SERVICIO ECOSISTÉMICO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| APROVISIONAMIENTO          | Pesca, acuicultura, agua para generación de energía, agua para irrigación, agua para consumo humano, productos maderables y no maderables, alimentos.                                                                                                                                                                                                |
| REGULACIÓN Y MANTENIMIENTO | Regulación de concentraciones de contaminantes y organismos nocivos para la salud humana (regulación de plagas y vectores de enfermedades), regulación de interacciones biológicas entre organismos y con componentes abióticos de los ecosistemas, ciclo de nutrientes del agua, regulación del clima, retención de nutrientes desde el ecosistema. |
| CULTURALES                 | Experiencias de turismo, belleza escénica, sitios patrimoniales, religiosidad, investigación, educación.                                                                                                                                                                                                                                             |
| SOPORTE                    | Producción primaria, biodiversidad, ciclo de carbono, formación de suelo, corredores biológicos, endemismo, refugio, ciclo de nutrientes.                                                                                                                                                                                                            |

3.1 Servicios ecosistémicos (“SSEE”) asociados al pueblo mapuche

Un ejemplo concreto y aplicable a la cuenca del Lago Villarrica, en la categoría de SSEE cultural, es el reconocimiento de sitios de significación cultural, esto es, aquellos espacios ecológico-culturales, los cuales adquieren un valor simbólico, material y espiritual para las comunidades, sean estos espacios físicos de la naturaleza significativos en sí mismos, o bien, espacios para la realización de prácticas culturales. A continuación, se presentan los sitios identificados por las comunidades<sup>20</sup>:

Menoko: “El Menoko se representa más bien en pequeñas fuentes de agua alimentadas subterráneamente o por un hilillo de agua rodeado de follaje, matorrales y árboles, donde se atribuye la presencia de Newen (fuerza - energía) y de Ngen (espíritu tutelar), que mantiene y fortalece el resto de los pozos de agua cercanos para uso de la gente del sector. El Menoko no debe ser molestado sino más bien respetado y protegido”. (Espacios de significación cultural y medio ambiente, 2010).

Rewe: “Al interior de la cultura el concepto de Rewe tiene a lo menos tres acepciones, las que a continuación se procede a describir: La primera se refiere al conjunto amplio de personas, familias y comunidades mapuche que participan de la organización del Gillatun, dicha estructura es definida por los propios dirigentes y autoridades tradicionales (Machi, Logko, Ñizol, Weupife, etc.), y puede estar conformada por 2000 a 6000 personas respectivamente” (Espacios de significación cultural y medio ambiente, 2010).

“La segunda acepción acerca del concepto Rewe tiene que ver con aquella figura tallada, antropomorfa, de 3 a 4 metros de largo aproximadamente con cuatro y más escalones y adornada de canelo, (foye), con banderas que en su alrededor son acompañadas por la presencia de aves, animales y diferentes artefactos cerámicos, etc. Este referente material, Rewe, es utilizado por la Machi en la celebración de sus distintos ritos y que juega el papel importante en la celebración del Gillatun, pues en torno a este referente los participantes giran realizando sus distintos bailes y rogativas” (Espacios de significación cultural y medio ambiente, 2010).

“La tercera acepción de Rewe dice relación a la estructura organizacional tradicional mapuche compuesta por un conjunto amplio de familias extensas (conjunto de Lof) unidas por lazos de parentesco y/o por problemas comunes a solucionar” (Espacios de significación cultural y medio ambiente, 2010).

<sup>18</sup> Ñanculef, 2016. Tayiñ Mapuche Kimün. Epistemología Mapuche - Sabiduría y Conocimientos.

<sup>19</sup> MMA - UDD (2016). Instrumentos económicos para el control de la contaminación en la cuenca del Lago Villarrica.

<sup>20</sup> Informe-Final\_Sistematizacion-CI-Villarrica.pdf



3.2 Aporte de contaminación por nutrientes (fósforo y nitrógeno) al Lago Villarrica

Los servicios ecosistémicos provistos por esta cuenca se han visto degradados, principalmente por el deterioro de los ecosistemas presentes en la cuenca, sumando a esto las actividades económicas como la industria acuícola, forestal, turismo y el crecimiento demográfico. Se ha generado un excesivo aporte de nutrientes provenientes de fuentes puntuales y difusas que drenan al lago según estudios, siendo la causante de la pérdida de equilibrio y saturación del Lago Villarrica. Las emisiones aportantes al lago han sido estimadas inicialmente a partir de los estudios: “Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) para incorporar al Plan de Descontaminación del Lago Villarrica”<sup>21</sup> y “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”<sup>22</sup>.

3.3 Deterioro de la calidad de las aguas del Lago Villarrica, impactos y efectos

El deterioro de la calidad de las aguas del Lago Villarrica, principalmente producto del ingreso acelerado de nutrientes (nitrógeno y fósforo) desde su cuenca aportante, ha generado un fuerte impacto sobre la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos provistos en la cuenca, sobre todo aquellos relacionados con las oportunidades de recreación y turismo que entrega el lago. El exceso de nutrientes produce un proceso de eutrofización que, sumado a otras variables como las altas temperaturas, alta irradiación solar, aumento de pH, poco viento, baja turbulencia y los parámetros hidrodinámicos del cuerpo de agua (mezcla, tiempo de residencia)<sup>23</sup> en el caso del Lago Villarrica, se ha traducido en un aumento desmedido del crecimiento de microalgas (bloom o afloramientos algales de cianobacterias), siendo la concentración de fósforo de alrededor de 0,03 mg/l, suficiente para el crecimiento acelerado. La proliferación de las cianobacterias<sup>24</sup> repercute en la disminución del oxígeno del agua, reducción de la transparencia, y en algunos casos, un aumento de toxinas que pueden afectar al resto de la biota acuática generando mortandad de peces y macroinvertebrados, además de afectar directamente la salud humana debido a la ingesta de agua, o bien, por contacto directo con la piel o inhalación. Asimismo, los impactos del aumento de los blooms de algas podrían generar efectos sobre la pesca y la acuicultura, la biodiversidad y la pérdida del valor del sector y de las propiedades, entre otros impactos. Las toxinas de cianobacterias tienen efectos graves también en los seres humanos, evidenciándose que una de las poblaciones más vulnerables a la exposición a cianotoxinas son los niños<sup>25</sup>.

4. Biodiversidad presente en la cuenca

La Región de La Araucanía posee alrededor de 44 especies de mamíferos, cerca de 150 especies de aves, 14 especies de reptiles, 24 especies de anfibios y 15 especies de peces, caracterizados por su endemismo. Muchas de estas especies habitan principalmente en las cordilleras de Los Andes y de La Costa. La cuenca del Lago Villarrica cuenta con una superficie protegida equivalente al 38% de su área total. Las áreas protegidas, tanto públicas como privadas, se ubican principalmente en la fracción alta de la cuenca, siendo escasas en las zonas más bajas y prácticamente inexistentes en los terrenos colindantes con el Lago Villarrica.

En el marco de la ley N° 21.202, durante los años 2021 y 2022, el Ministerio del Medio Ambiente declaró de oficio dos humedales urbanos en la cuenca, correspondientes a Mallolafquen (Villarrica)<sup>26</sup>

<sup>21</sup> MMA-UFRO (2018). Análisis y evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fosforo) para incorporar al Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

<sup>22</sup> MMA-UFRO (2020). Evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en base al análisis de Escenarios, como insumo para la preparación del anteproyecto del PD de la cuenca del Lago Villarrica.

<sup>23</sup> Ministerio del Medio Ambiente-Universidad Austral de Chile (2020). Revisión de antecedentes de calidad del agua, como apoyo a la elaboración de informes de calidad del Ministerio del Medio Ambiente. elaboración de un protocolo de acción para gestión de episodios de bloom algales en el Lago Villarrica.

<sup>24</sup> Sejnohova, L. & Marsalek, B. (2012). Microcystis. In Ecology of Cyanobacteria II. (Ed B. A. Whitton), pp. 195-228. Springer Dordrecht.

<sup>25</sup> Svircev Z., Drobac D., Tokodi N., Mijovic B., Codd G.A., Meriluoto J. Toxicology of microcystins with reference to cases of human intoxications and epidemiological investigations of exposures to cyanobacteria and cyanotoxins. Arch Toxicol 2017; 91:621-50.

<sup>26</sup> chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.diariooficial.interior.gob.cl/publicaciones/2022/01/27/43163/01/2077796.pdf

y La Poza y Delta del Trancura (Pucón)<sup>27, 28</sup>. Ambos son humedales lacustres y ribereños que abarcan una superficie de 994.6 hectáreas colindantes al Lago Villarrica. Estos proveen hábitat y área de nidificación para numerosas especies de aves endémicas y migratorias, además de ser un soporte ante escenarios de riesgos naturales, así como de alto valor cultural para la comunidad. Destaca la presencia del Moscardón *Bombus dahlbomii*, catalogado como especie en Peligro y de la Rana de hojarasca grande (*Eupsophus vertebralis*) y Rana chilena (*Calyptocephalella gayi*); ambas especies catalogadas como Vulnerables.

El Lago Villarrica es descrito como un elemento fundamental para mantener los procesos y funciones de los ecosistemas de la cuenca del río Toltén (de la cual forma parte). Este lago pertenece a una microrregión de importancia para la conservación de invertebrados acuáticos de agua dulce<sup>29</sup>, destacándose además la presencia de *Diplodon chilensis*, molusco bivalvo filtrador de la familia Hyriidae, que a nivel de subfamilia Hirrinae es endémica de América del Sur<sup>30</sup>.

En esta zona existe un hotspot de biodiversidad de invertebrados de agua dulce, que se caracteriza por presentar un alto grado de endemismo, y al mismo tiempo, sufrir el impacto significativo de actividades humanas, debido al enriquecimiento orgánico excesivo de las aguas<sup>31</sup>. Respecto a la fauna íctica de esta cuenca, destacan especies como: Bagre chico (*Trichomycterus areolatus*), en estado de conservación Vulnerable (VU); (LC) Puye (*Galaxias platei*), en categoría de conservación de preocupación menor (LC) y Pocha del sur (*Cheirodon australe* en estado de conservación Vulnerable) (VU).

La vegetación nativa de la cuenca ha sido descrita de acuerdo a Luebert & Pliscoff (2006)<sup>32</sup> como “Bosque caducifolio templado de *Nothofagus obliqua* y *Laurelia sempervirens*”. Este piso vegetacional se encuentra en la depresión intermedia y laderas de ambas cordilleras de la Región de La Araucanía, sin embargo, en la primera se encuentra degradado y modificado debido al reemplazo casi en su totalidad por superficie agrícola y ganadera. Esta alteración por tala produce efectos de reemplazo de la vegetación liderada por matorrales como *Chusquea quila* (quila), *Rubus constrictus*-*Ulex europaeus* (Zarza mora y Espinillo respectivamente) o *Aristotelia chilensis*-*Rubus constrictus* (Maqui y Zarza mora). En algunos sectores asociados a la vegetación nativa es posible encontrar especies introducidas, tales como *Pseudotsuga menziesii* (pino oregón), *Eucalyptus* Spp. (eucaliptus) y *Acacia farnesiana* (aromo). Por otra parte, los sectores pantanosos son reemplazados por comunidades dominadas por la especie *Juncus procerus*. Dentro de esta clasificación se pueden encontrar las siguientes especies nativas: Laurel (*Laurelia sempervirens*), Olivillo (*Aextoxicon punctatum*), Mañío de hojas largas (*Podocarpus saligna*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), Copihue (*Lapageria rosea*), Pilpilvoqui (*Boquila trifoliata*) y en algunas zonas es importante la presencia de Coihue (*Nothofagus dombeyi*). También se distinguen otros pisos vegetacionales en función de su altitud y vegetación predominante, como: Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus alpina* (raulí) y *Dasyphyllum diacanthoides* (trevo), Bosque caudifolio templado andino de *Nothofagus alpina* (raulí) y *Nothofagus dombeyi* (coigüe), Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* (lenga) y *Araucaria araucana* (araucaria) y Bosque caducifolio templado andino de *Nothofagus pumilio* (lenga) y Azara alpina (lilén de la cordillera).

La vegetación acuática de la cuenca se caracteriza por especies como: Llantén de agua (*Alisma plantago-aquatica*), Flor del pato (*Azolla filiculoides*), Cortadera (*Cyperus eragrostis*), Luchecillo (*Elodea densa*), Junquillo (*Juncus procerus*), Pitra (*Myrceugenia exsucca*), Duraznillo (*Polygonum hidropiperoides*), entre otras. Así también se destaca la presencia de especies ribereñas exóticas, tales como Sauce (*Salix viminalis*) y Aliso (*Alnus glutinosa*).

Respecto a la fauna presente en la cuenca, en específico sobre el grupo de los mamíferos, se destaca la presencia de Puma (*Puma concolor*), Pudú (*Pudu pudu*), Güiña (*Leopardus Guigna*), Degu (*Octodon degu*), Ratón Topo Valdiviano (*Geoxus valdivianus*), Zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*), Zorro chilla (*Pseudalopex griseus*), Quique (*Galictis cuja*). Por otro lado, en cuanto a las aves se pueden encontrar especímenes de Halcón peregrino (*Falco peregrinus*), Becacina (*Gallinago paraguaiiae*), Carpintero negro (*Campephilus magellanicus*), Cóndor (*Vultur gryphus*), Pato cortacorrientes (*Merganetta armata*), entre otros. En cuanto a los reptiles se pueden encontrar especies, tales como, Gruñidor del Sur (*Pristidactylus torquatus*) y Culebra de Cola corta (*Tachymenis chilensis*). En el grupo de los

<sup>27</sup> Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.doe.cl/alerta/18072022/2157319

<sup>28</sup> Cabe indicar que el humedal urbano La Poza y Delta del Trancura fue objeto de diversas reclamaciones ante el Tercer Tribunal Ambiental, en autos rol R-56-2022 y acumuladas. Cabe indicar que, si bien el Tercer Tribunal Ambiental acogió parte de estas reclamaciones, dicho fallo no se encuentra ejecutoriado a la fecha del presente decreto, pues existen recursos judiciales pendientes ante la Excm. Corte Suprema.

<sup>29</sup> Pérez-Losada M. et al. (2002). Phylogenetic Relationships among the Species of *Aegla* (Anomura: Aeglidae) Freshwater Crabs from Chile. *Journal of Crustacean Biology*, Volume 22, Issue 2, 1 April 2002, Pages 304–313.

<sup>30</sup> Lara & Parada E. (2008). Mantencion del patrón de distribucion espacial, densidad y estructura de tamaños de la almeja de agua dulce *diplodon chilensis* gray, 1828 (bivalvia: hyriidae) en el lago Panguipulli, Chile.

<sup>31</sup> Cummins, K. 1992. Invertebrates. En: Calow P & G Petts (eds). *The rivers handbook. Hidrological and Ecological principles*. Calow P & G Petts. 1: 234-250.

<sup>32</sup> Luebert, F. & Pliscoff P (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Serie Biodiversidad. Ed. Universitaria, Santiago de Chile. 316 pp.

Anfibios las especies más representativas son la Ranita de Darwin (*Rhinoderma Darwini*) y el Sapito de Cuatro Ojos (*Pleurodema thaul*). Finalmente, respecto de especies introducidas, se destacan el Ciervo Rojo (*Cervus elaphus*) y Jabalí (*Sus scropha*), siendo este último una especie altamente invasora que influye de forma directa sobre la flora y fauna nativa. Así también se ha documentado la presencia de la diatomea bentónica *Didymo* (*Didymosphenia Geminata*), en ríos y esteros tributarios del Lago Villarrica, la cual se encuentra en categoría de riesgo y plaga de acuerdo al Informe Técnico N° 677, de Subpesca, de fecha 22 de julio de 2019.

5. Características climáticas, meteorológicas e hidrología de la cuenca del Lago Villarrica

Esta cuenca posee clima de tipo templado lluvioso con influencia mediterránea y se caracteriza por presentar precipitaciones durante todo el año, alcanzando los 1.000 mm anuales, aunque en verano suele haber una leve disminución<sup>33</sup>. Por otra parte, el promedio de temperaturas máximas es de 13°C y para las mínimas es de 6°C. Los tipos de clima específicos del área de la cuenca hidrográfica del Lago Villarrica son mediterráneo marino fresco, marino húmedo patagónico y polar andino tundra<sup>34</sup>. La cuenca del Lago Villarrica se caracteriza, desde el punto de vista hidrológico, por el desarrollo de un sistema lacustre de barreras morrénicas, que corresponde a un conjunto de depresiones unidas con otras pequeñas cuencas, a través de ríos emisarios. Esta cuenca pertenece a la macrozona de los denominados Lagos Norpatagónicos. La cuenca presenta 4 estaciones fluviométricas vigentes que se indican en la Tabla 5. Estas estaciones son operadas por la Dirección General de Aguas (DGA) y registran información en línea de los caudales de la cuenca.

Tabla 5. Estaciones fluviométricas de la cuenca del Lago Villarrica.

| CÓDIGO BNA* | NOMBRE ESTACIÓN                 | INICIO REGISTRO |
|-------------|---------------------------------|-----------------|
| 09412001-2  | RÍO TRANCURA EN CURARREHUE      | 1968            |
| 09414001-3  | RÍO TRANCURA ANTES RÍO LLAFENCO | 1970            |
| 09416001-4  | RÍO LIUCURA EN LIUCURA          | 1971            |
| 09420001-6  | RÍO TOLTÉN EN VILLARRICA        | 1929            |

\*BNA: Banco Nacional de Aguas.

De acuerdo a la información histórica obtenida de la DGA, los caudales mínimos mensuales para la estación Río Trancura en Curarrehue se encuentran en un rango inferior a los 6 m3/s, mientras que los caudales máximos presentan amplia variabilidad con un máximo histórico de 353 m3/s registrado en el mes de marzo del año 2002. En el caso de la estación Río Trancura (antes de Río Llafenco), los caudales mínimos mensuales se encuentran entre los 20 y 34 m3/s mientras que los caudales máximos se encuentran en un rango entre 200 y 1.300 m3/s. El valor máximo histórico en esta estación corresponde al mes de agosto de 2003 con un máximo de 1.300 m3/s. En el caso de la estación Río Liucura, los caudales mínimos fluctúan entre los 3,5 y 11,50 m3/s y los caudales máximos se encuentran en un rango entre 74 y 516 m3/s. Finalmente, los caudales mínimos se encuentran entre los 80 y 120 m3/s para la estación Río Toltén en Villarrica (Desembocadura del Lago Villarrica). Los caudales máximos en este sector de la cuenca se encuentran en un rango entre 900 y 270 m3/s, siendo el valor máximo histórico en julio del año 1978. A diferencia de las demás estaciones de la cuenca, en ésta se observa menor variabilidad de caudales máximos y mínimos por efecto de la amortiguación de los flujos que genera el Lago Villarrica.

6. Condiciones que dan origen a episodios de crecimiento de Bloom de algas y cianobacterias

De acuerdo con la literatura científica, las condiciones y variables ambientales y antrópicas que dan origen a episodios o eventos de bloom algales, corresponden a períodos de altas temperaturas, alta irradiación solar, ingreso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) generados por derretimientos nivales y glaciales de primavera y otras fuentes como las antrópicas, aumento de pH, poco viento y baja turbulencia. Estos bloom algales han afectado directamente el parámetro transparencia del lago, el cual se encuentra en saturación y, por ello, es una materia relevante en lo que respecta al cumplimiento normativo de la Normas Secundarias de Calidad Ambiental de la cuenca del Lago Villarrica. Los factores abióticos, los nutrientes, incluyendo el nitrógeno inorgánico y el fósforo, la temperatura y la intensidad de la luz, y los parámetros hidrodinámicos del cuerpo de agua (turbidez, mezcla y tiempo de residencia), han sido reportados como los factores más importantes en la proliferación de las cianobacterias. El fitoplancton puede realizar fotosíntesis, utilizando los pigmentos clorofila-a

<sup>33</sup> Dirección Meteorológica de Chile, 2011.  
<sup>34</sup> DGA - Norcontrol (2009). Antecedentes para el análisis general del impacto económico y social de la norma de secundaria del Lago Villarrica / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.



(Cl-a) y -b (y otros pigmentos), por lo que, a una cierta intensidad y calidad de luz, dependiendo de la especie, las algas estarán en su máxima productividad.

La temperatura del agua favorece también al desarrollo de la floración de las cianobacterias y juega un papel crítico en la flotabilidad, la asimilación de los nutrientes esenciales y la síntesis de las toxinas. La turbidez del agua es otro factor que influye en el crecimiento de las algas. Las partículas (inorgánicas y orgánicas, incluyendo las mismas algas) de la columna de agua afectan la penetración de la luz y la temperatura del agua, lo que, a su vez, podría impedir grandes floraciones de algas.

En los últimos años, los lagos Nor-Patagónicos, que se han caracterizado por su naturaleza oligotrófica, han incrementado la frecuencia de florecimientos masivos de cianobacterias. Esto se debe principalmente a que ciertos grupos de cianobacterias presentan estructuras denominadas heterocistos que les permiten fijar nitrógeno atmosférico. Los primeros resultados prospectivos de la presencia y cuantificación de cianotoxinas (i.e. MC-LR) asociados a estos blooms en los lagos Nor-Patagónicos mostraron que en su mayoría las concentraciones de MC-LR estuvieron por debajo del límite máximo para agua potable de 1 µg/L fijado por la OMS. Sin embargo, para el Lago Villarrica, donde se observó un pronunciado bloom de cianobacterias *Anabaena* sp. (*Dolichospermum* sp.), se detectaron hasta 3,5 µg/L eq. MC-LR en el balneario de Pucón; valor que estaría por debajo de los límites recomendados por la OMS en la guía de calidad de aguas recreacionales, publicada en el año 2021, donde se estipula un valor límite de 24 µg/L para MCs. En este sentido, las condiciones que generan los Bloom de algas en el Lago Villarrica continúan siendo objeto de investigación por parte del Ministerio del Medio Ambiente, con el objeto de dilucidar tanto las variables que participan en la aparición como las dinámicas propias del lago que contribuyen a esta situación<sup>35</sup>.

7. Sobre la evolución y condiciones de la calidad del agua en la zona saturada, y la necesidad de implementar un plan de descontaminación

A continuación, se presenta un resumen de la información contenida en el informe técnico de antecedentes para la declaratoria de zona saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, que se encuentra en el expediente público de este Plan y fue elaborado por la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región de La Araucanía, a partir de la información de monitoreo de calidad del agua validada en los informes técnicos de cumplimiento de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del Lago Villarrica emitidos por la Superintendencia del Medio Ambiente<sup>36</sup>.

En las Tabla 6 y Tabla 7 se muestran los promedios y valores máximos/mínimos del monitoreo de clorofila “a” en las áreas de vigilancia de la norma secundaria durante el periodo 2014-2021 y los resultados de la aplicación del índice de estado trófico-TSI (trophic state index) de Carlson para cada una de las áreas de vigilancia, el cual permite determinar el estado trófico de un lago mediante la relación de la concentración de clorofila, transparencia y fósforo total, bajo el supuesto de que el material particulado suspendido controla la profundidad Secchi y que la concentración algal en el agua es la principal fuente de este material (Carlson, 1977). En las Tabla 8 y Tabla 9 se muestran los promedios y valores máximos/mínimos del monitoreo de transparencia en las áreas de vigilancia durante el periodo 2014-2021 y los resultados de la aplicación del TSI de Carlson para cada una de las áreas de vigilancia respectivamente. Finalmente, en las Tabla 10 y Tabla 11, se muestran los valores promedios y máximos/mínimos para fósforo disuelto y fósforo total en las áreas de vigilancia.

Tabla 6. Promedios ponderados y valores máximos del monitoreo de clorofila “a” en las áreas de vigilancia durante el periodo 2014-2021.

| Promedio ponderado clorofila “a” (µg/L) por área de vigilancia. |                      |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación                                          | Periodo              | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
| C1*                                                             | Promedio (2014-2015) | 5,2    | 7,6    | 6,8    | 10,1   | 8,3    | 7,3    |
|                                                                 | Promedio (2015-2016) | 5,5    | 6,9    | 6,6    | 9,8    | 8,3    | 7,0    |
|                                                                 | Promedio (2016-2017) | 1,5    | 2,3    | 1,7    | 1,9    | 2,0    | 2,1    |
|                                                                 | Promedio (2017-2018) | 1,3    | 1,9    | 2,2    | 2,4    | 2,1    | 2,5    |
|                                                                 | Promedio (2018-2019) | 1,7    | 1,9    | 2,6    | 2,8    | 2,2    | 2,6    |
|                                                                 | Promedio (2019-2020) | 1,5    | 2,2    | 2,3    | 2,8    | 2,1    | 2,0    |
|                                                                 | Promedio (2020-2021) | 1,3    | 2,7    | 2,5    | 3,4    | 2,5    | 2,5    |
| Norma promedio                                                  |                      | ≤3     | ≤5     | ≤5     | ≤5     | ≤5     | ≤5     |

<sup>35</sup> Nimptsch, J.; Woelfl, S.; Osorio, S.; Valenzuela, J.; Moreira, C.; Ramos, V.; Castelo-Branco, R.; Leão, P.N.; Vasconcelos, V. First Record of Toxins Associated with Cyanobacterial Blooms in Oligotrophic North Patagonian Lakes of Chile—a Genomic Approach. *Int. Rev. Hydrobiol.* 2016, 101, 57–68.

<sup>36</sup> Expedientes DFZ-2016-4695-IX-NC-EI, DFZ-2017-5420-IX-NC-EI, DFZ-2018-1755-IX-NC, DFZ-2019-2035-IX-NC, DFZ-2020-3129-IX-NC, DFZ-2021-3108-IX-NC y DFZ-2022-1908-IX-NC de SNIFA.

| Promedio ponderado clorofila “a” (µg/L) por área de vigilancia. |                    |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación                                          | Periodo            | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
| C2*                                                             | Máximo (2014-2015) | 9,9    | 14,8   | 14,9   | 17,9   | 14,8   | 13,2   |
|                                                                 | Máximo (2015-2016) | 9,9    | 14,8   | 14,9   | 17,9   | 14,8   | 13,2   |
|                                                                 | Máximo (2016-2017) | 2,3    | 3,6    | 2,6    | 2,8    | 2,6    | 2,6    |
|                                                                 | Máximo (2017-2018) | 2,5    | 3,6    | 4,1    | 4,5    | 3,9    | 4,9    |
|                                                                 | Máximo (2018-2019) | 2,5    | 2,7    | 4,1    | 4,5    | 3,9    | 4,9    |
|                                                                 | Máximo (2019-2020) | 2,5    | 2,7    | 3,5    | 4,2    | 3,0    | 2,7    |
|                                                                 | Máximo (2020-2021) | 1,6    | 3,5    | 3,1    | 4,2    | 3,0    | 3,9    |
| Norma Máximo                                                    |                    | ≤6     | ≤10    | ≤10    | ≤10    | ≤10    | ≤10    |

(\*) C1: Superación de la norma promedio considerado el promedio de cuatro campañas en un periodo de dos años.

(\*) C2: Superación del valor máximo normativo considerando el máximo valor de cuatro campañas en un periodo de dos años.

Los cuadros destacados en color indican superación de la norma en nivel de saturación.

NOTA: PEL-CE (Pelagial Centro lago); LIT-PU (Litoral Pucón); LIT-NO (Litoral norte); LIT-VI (litoral Villarrica); LIT-SU (Litoral Sur); LIT-PO (Litoral La Poza Pucón).

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de los Informes técnicos de cumplimiento de normas de calidad del agua elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, 2017 a, b, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Expedientes N° DFZ-2016-4695-IX-NC-EI, DFZ-2017-5420-IX-NC-EI, DFZ-2018-1755-IX-NC, DFZ-2019-2035-IX-NC, DFZ-2020-3129-IX-NC, DFZ-2021-3108-IX-NC y DFZ-2022-1908-IX-NC.

Tabla 7. Resultados de la aplicación del TSI (trophic state index) de Carlson para la clorofila “a” en las áreas de vigilancia durante el periodo 2014-2021.

| Fecha campaña | Índice de Trofia TSI Carlson (clorofila “a”) |           |           |          |         |          |
|---------------|----------------------------------------------|-----------|-----------|----------|---------|----------|
|               | PEL-CENTRO                                   | LIT PUCON | LIT NORTE | LIT-VILL | LIT-SUR | LIT POZA |
| 04-02-2014    | 37,9                                         | 47,5      | 41,0      | 44,4     | 44,2    | 41,7     |
| 06-10-2014    | 25,6                                         | 35,2      | 32,4      | 31,5     | 33,9    | 38,8     |
| 27-01-2015    | 51,2                                         | 57,0      | 57,1      | 58,7     | 56,8    | 55,9     |
| 01-10-2015    | 53,1                                         | 51,6      | 51,2      | 58,9     | 57,0    | 53,9     |
| 01-03-2016    | 38,9                                         | 40,7      | 37,4      | 37,4     | 37,9    | 38,3     |
| 18-10-2016    | 34,6                                         | 34,6      | 34,6      | 34,6     | 36,4    | 36,9     |
| 01-03-2017    | 33,2                                         | 43,2      | 40,0      | 40,7     | 40,0    | 40,0     |
| 18-10-2017    | 27,1                                         | 31,5      | 25,6      | 31,5     | 33,2    | 36,4     |
| 27-02-2018    | 27,1                                         | 35,8      | 35,8      | 34,6     | 27,1    | 28,4     |
| 24-10-2018    | 39,6                                         | 32,4      | 44,4      | 45,4     | 44,0    | 46,2     |
| 29-01-2019    | 32,4                                         | 40,3      | 42,9      | 42,9     | 40,7    | 40,0     |
| 27-02-2019    | 35,8                                         | 40,0      | 41,4      | 45,1     | 40,0    | 40,3     |
| 20-11-2019    | 39,2                                         | 37,9      | 33,2      | 33,9     | 33,2    | 37,4     |
| 04-12-2019    | 38,3                                         | 37,9      | 31,5      | 33,9     | 35,2    | 38,3     |
| 28-01-2020    | 34,6                                         | 36,9      | 41,7      | 44,4     | 41,4    | 35,2     |
| 26-02-2020    | NPA                                          | NPA       | NPA       | NPA      | NPA     | NPA      |
| 19-10-2020    | 14,8                                         | 31,5      | 32,4      | 27,1     | 28,4    | 21,6     |
| 10-11-2020    | 32,4                                         | 39,2      | 34,6      | 42,0     | 35,8    | 40,7     |
| 24-11-2020    | 29,6                                         | 39,2      | 35,2      | 36,9     | 32,4    | 34,6     |
| 10-02-2021    | 35,2                                         | 44,2      | 43,2      | 47,8     | 42,9    | 43,4     |
| 03-03-2021    | 30,6                                         | 38,8      | 34,6      | 35,2     | 36,9    | 38,8     |
| 20-10-2021    | 33,2                                         | 40,7      | 33,9      | 37,4     | 37,9    | 43,7     |
| 08-11-2021    | NPA                                          | 42,3      | 42,6      | 44,0     | 42,0    | 42,3     |
| 29-11-2021    | 35,8                                         | 44,9      | 44,0      | 45,8     | 42,9    | 45,4     |



Tabla 8. Resultados del monitoreo de transparencia en las áreas de vigilancia durante el periodo 2014-2021.

| Promedio ponderado Transparencia (m) |                      |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación               | Periodo              | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
| C1*                                  | Promedio (2014-2015) | 8,2    | 7,5    | 8,4    | 7,6    | 7,5    | 7,0    |
|                                      | Promedio (2015-2016) | 8,3    | 8,6    | 9,1    | 8,2    | 8,0    | 7,8    |
|                                      | Promedio (2016-2017) | 8,2    | 9,0    | 8,8    | 8,1    | 8,1    | 7,3    |
|                                      | Promedio (2017-2018) | 6,9    | 8,1    | 8,6    | 7,1    | 7,6    | 7,1    |

| Promedio ponderado Transparencia (m) |                      |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación               | Periodo              | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
|                                      | Promedio (2018-2019) | 8,5    | 7,2    | 9,0    | 8,0    | 8,7    | 7,8    |
|                                      | Promedio (2019-2020) | 8,4    | 7,0    | 7,3    | 7,4    | 8,1    | 6,8    |
|                                      | Promedio (2020-2021) | 7,7    | 6,8    | 7,3    | 6,7    | 7,2    | 6,3    |
| Norma promedio                       |                      | ≥9     | ≥7     | ≥7     | ≥7     | ≥7     | ≥7     |
| C2*                                  | Mínimo (2014-2015)   | 5,4    | 4,5    | 7,     | 5,6    | 6      | 5      |
|                                      | Mínimo (2015-2016)   | 6,4    | 6      | 7,5    | 6,9    | 5,5    | 5,5    |
|                                      | Mínimo (2016-2017)   | 7,4    | 6,5    | 7,5    | 6,5    | 5,5    | 5,0    |
|                                      | Mínimo (2017-2018)   | 4,0    | 6,4    | 4,0    | 4,5    | 4,5    | 4,0    |
|                                      | Mínimo (2018-2019)   | 4,0    | 6,4    | 4,0    | 4,5    | 4,5    | 4,0    |
|                                      | Mínimo (2019-2020)   | 6,4    | 5,5    | 4,5    | 5,6    | 6,0    | 5,0    |
|                                      | Mínimo (2020-2021)   | 6,4    | 5,5    | 4,5    | 5,6    | 6,0    | 5,0    |
| Norma Mínimo                         |                      | ≥5     | ≥4     | ≥4     | ≥4     | ≥4     | ≥4     |

(\*) C1: Superación de la norma promedio considerado el promedio de cuatro campañas en un periodo de dos años.

(\*) C2: Superación del valor mínimo normativo considerando el mínimo valor de cuatro campañas en un periodo de dos años.

Los cuadros destacados en color oscuro indican superación de la norma en nivel de saturación y en color claro superación en nivel de latencia.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de los Informes técnicos de cumplimiento de normas de calidad del agua elaborado por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, 2017 a, b, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Expedientes N° DFZ-2016-4695-IX-NC-EI, DFZ-2017-5420-IX-NC-EI, DFZ-2018-1755-IX-NC, DFZ-2019-2035-IX-NC, DFZ-2020-3129-IX-NC, DFZ-2021-3108-IX-NC y DFZ-2022-1908-IX-NC.

Tabla 9. Resultados de la aplicación del TSI (trophic state index) de Carlson para transparencia en las áreas de vigilancia durante el periodo 2014-2021.

| Fecha campaña | Índice de Trofia TSI Carlson (Transparencia) |           |           |          |         |          |
|---------------|----------------------------------------------|-----------|-----------|----------|---------|----------|
|               | PEL-CENTRO                                   | LIT PUCON | LIT NORTE | LIT-VILL | LIT-SUR | LIT POZA |
| 04-02-2014    | 35,4                                         | 38,3      | 32,0      | 35,2     | 32,0    | 36,8     |
| 06-10-2014    | 24,8                                         | 28,3      | 29,2      | 27,4     | 28,3    | 32,0     |
| 27-01-2015    | 27,7                                         | 26,1      | 26,1      | 29,9     | 30,0    | 26,1     |
| 01-10-2015    | 33,3                                         | 34,2      | 31,0      | 32,2     | 34,2    | 35,4     |
| 01-03-2016    | 27,0                                         | 24,8      | 26,8      | 26,0     | 23,8    | 27,6     |
| 18-10-2016    | 31,2                                         | 33,0      | 29,2      | 31,8     | 35,4    | 35,4     |
| 01-03-2017    | 31,0                                         | 33,0      | 28,3      | 33,0     | 32,0    | 28,3     |
| 18-10-2017    | 30,0                                         | 24,8      | 31,0      | 30,0     | 31,0    | 36,8     |
| 28-02-2018    | 29,3                                         | 30,0      | 22,0      | 27,4     | 24,8    | 26,1     |
| 24-10-2018    | 40,0                                         | 33,3      | 40,0      | 38,3     | 38,3    | 40,0     |
| 29-01-2019    | 28,5                                         | 33,0      | 31,6      | 31,0     | 31,0    | 30,0     |
| 27-02-2019    | 28,5                                         | 32,0      | 32,0      | 32,0     | 29,2    | 28,3     |
| 20-11-2019    | 26,1                                         | 30,0      | 25,8      | 26,0     | 24,8    | 28,8     |
| 04-12-2019    | 30,2                                         | 30,0      | 29,2      | 28,3     | 25,4    | 28,3     |
| 29-01-2020    | 34,4                                         | 34,2      | 38,3      | 38,3     | 36,8    | 33,0     |
| 26-02-2020    | 28,5                                         | 26,8      | 38,3      | 32,0     | 26,8    | 38,3     |
| 19-10-2020    | 30,2                                         | 34,2      | 30,0      | 33,0     | 33,0    | 38,3     |
| 11-11-2020    | 34,4                                         | 36,8      | 33,0      | 36,8     | 33,0    | 36,8     |
| 24-11-2020    | 35,7                                         | 35,4      | 36,8      | 36,8     | 36,8    | 35,4     |
| 10-02-2021    | 34,2                                         | 36,8      | 33,0      | 36,8     | 34,2    | 34,2     |
| 03-03-2021    | 30,0                                         | 30,0      | 25,4      | 28,3     | 28,3    | 29,2     |
| 20-10-2021    | 30,0                                         | 31,0      | 27,6      | 30,0     | 33,0    | 32,0     |
| 08-11-2021    | 28,3                                         | 29,2      | 28,3      | 27,6     | 30,0    | 30,0     |
| 29-11-2021    | 34,2                                         | 34,2      | 27,6      | 30,0     | 29,2    | 32,0     |

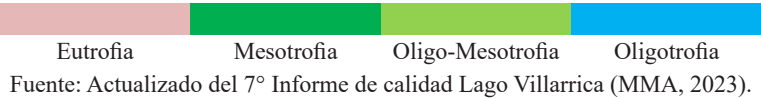




Tabla 10. Resultados del monitoreo de fósforo disuelto en las áreas de vigilancia durante el periodo 2015-2021.

| Promedio ponderado Fósforo Disuelto (mg/L) |                      |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación                     | Período              | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
| C1*                                        | Promedio (2015-2016) | 0,009  | 0,010  | 0,009  | 0,013  | 0,010  | 0,012  |
|                                            | Promedio (2016-2017) | 0,004  | 0,004  | 0,003  | 0,003  | 0,003  | 0,003  |
|                                            | Promedio (2017-2018) | 0,004  | 0,005  | 0,003  | 0,003  | 0,003  | 0,004  |
|                                            | Promedio (2018-2019) | 0,004  | 0,004  | NPA(4) | NPA(4) | NPA(4) | 0,004  |
|                                            | Promedio (2019-2020) | 0,005  | 0,005  | 0,006  | 0,005  | 0,005  | 0,005  |
|                                            | Promedio (2020-2021) | NPA    | 0,005  | 0,006  | 0,006  | 0,005  | 0,006  |
| Norma promedio                             |                      | ≤0,010 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 |
| C2*                                        | Máximo (2015-2016)   | 0,021  | 0,020  | 0,022  | 0,035  | 0,027  | 0,030  |
|                                            | Máximo (2016-2017)   | 0,005  | 0,005  | 0,003  | 0,004  | 0,004  | 0,004  |
|                                            | Máximo (2017-2018)   | 0,005  | 0,006  | 0,004  | 0,003  | 0,004  | 0,007  |
|                                            | Máximo (2018-2019)   | 0,006  | 0,006  | 0,006  | 0,006  | 0,005  | 0,007  |
|                                            | Máximo (2019-2020)   | 0,006  | 0,005  | 0,006  | 0,007  | 0,006  | 0,006  |
|                                            | Máximo (2020-2021)   | 0,005  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  |
| Norma Máximo                               |                      | ≤0,015 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 |

(\*) C1: Superación de la norma promedio considerado el promedio de cuatro campañas en un periodo de dos años.

(\*) C2: Superación del valor máximo normativo considerando el máximo valor de cuatro campañas en un periodo de dos años.

NPA: No permite análisis, tiempo de preservación superó lo fijado en referencias procedimentales.

Los cuadros destacados en color oscuro indican superación de la norma en nivel de saturación y en color claro superación en nivel de latencia.

Fuente: Informes técnicos de cumplimiento de normas de calidad del agua elaborados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, 2017 a, b, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Expedientes N° DFZ-2016-4695-IX-NC-EI, DFZ-2017-5420-IX-NC-EI, DFZ-2018-1755-IX-NC, DFZ-2019-2035-IX-NC, DFZ-2020-3129-IX-NC, DFZ-2021-3108-IX-NC y DFZ-2022-1908-IX-NC.

Tabla 11. Resultados del monitoreo de fósforo total en las áreas de vigilancia durante el periodo 2016-2021.

| Promedio ponderado Fósforo Total (mg/L) |                      |        |        |        |        |        |        |
|-----------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Criterio de superación                  | Período              | PEL-CE | LIT-PU | LIT-NO | LIT-VI | LIT-SU | LIT-PO |
| C1*                                     | Promedio (2016-2017) | 0,006  | 0,008  | 0,006  | 0,005  | 0,005  | 0,008  |
|                                         | Promedio (2017-2018) | 0,008  | 0,009  | 0,007  | 0,006  | 0,007  | 0,009  |
|                                         | Promedio (2018-2019) | 0,012  | 0,013  | 0,012  | 0,006  | 0,006  | 0,009  |
|                                         | Promedio (2019-2020) | 0,012  | 0,011  | 0,012  | 0,009  | 0,007  | 0,009  |
|                                         | Promedio (2020-2021) | NPA    | 0,007  | 0,007  | 0,008  | 0,007  | 0,007  |
| Norma promedio                          |                      | ≤0,010 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 | ≤0,015 |
| C2*                                     | Max/min (2016-2017)  | 0,008  | 0,014  | 0,009  | 0,008  | 0,008  | 0,012  |
|                                         | Max/min (2017-2018)  | 0,013  | 0,016  | 0,015  | 0,011  | 0,012  | 0,012  |
|                                         | Max/min (2018-2019)  | 0,032  | 0,022  | 0,029  | 0,011  | 0,012  | 0,011  |
|                                         | Max/min (2019-2020)  | 0,022  | 0,022  | 0,022  | 0,017  | 0,011  | 0,009  |
|                                         | Max/min (2020-2021)  | 0,015  | 0,010  | 0,010  | 0,017  | 0,011  | 0,009  |
| Norma Min/Max                           |                      | ≤0,015 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,025 |

(\*) C1: Superación de la norma promedio considerado el promedio de cuatro campañas en un periodo de dos años.

(\*) C2: Superación del valor máximo normativo considerando el máximo valor de cuatro campañas en un periodo de dos años.

NPA: No permite análisis, tiempo de preservación superó lo fijado en referencias procedimentales.

Los cuadros destacados en color oscuro indican superación de la norma en nivel de saturación y en color claro superación en nivel de latencia.

Fuente: Informes técnicos de cumplimiento de normas de calidad del agua elaborados por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA, 2017 a, b, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022). Expedientes N° DFZ-2016-4695-IX-NC-EI, DFZ-2017-5420-IX-NC-EI, DFZ-2018-1755-IX-NC, DFZ-2019-2035-IX-NC, DFZ-2020-3129-IX-NC, DFZ-2021-3108-IX-NC y DFZ-2022-1908-IX-NC.

Del análisis anterior, y según lo establecido en el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, es posible concluir que la concentración promedio bianual para el parámetro clorofila “a” superó el valor normado para este parámetro en todas las áreas de vigilancia, evidenciándose la superación de la norma para los valores máximos en todas las áreas de vigilancia monitoreadas, en los periodos 2014-2015 y 2015-2016, por lo que la norma se encontró en condición de saturada. Del mismo modo, el parámetro transparencia registró niveles de saturación en su valor promedio bianual en los periodos 2014-2015 y 2015-2016 para el área de vigilancia pelagial (centro del lago), por lo que se encontró en una condición de saturada. En cuanto al parámetro fósforo disuelto en el periodo bianual 2015-2016, registró saturación por los valores máximos en 4 de las 6 áreas de vigilancia, por lo que la norma se observó en condición de saturada para ese período.

De modo complementario en el análisis, y a propósito de lo que se expone en los párrafos siguientes, es importante tener presente que durante los periodos 2018-2019 y 2019-2020 el parámetro fósforo total se encontró en una condición de saturación para el área pelagial, en cuanto al valor promedio como el máximo, en tanto para el periodo 2020-2021 y respecto del valor máximo asociado al límite bienal, se configura cumplimiento normativo en nivel de latencia (Tabla 11).

Dado que desde la elaboración del Anteproyecto y su correspondiente inventario de emisiones hasta la actualidad ha transcurrido un tiempo considerable, se realizó un análisis de las concentraciones en el lago de acuerdo con el último Informe Técnico de cumplimiento de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental<sup>37</sup>, con datos validados por la Superintendencia del Medio Ambiente. De acuerdo con el análisis del último periodo bianual 2020-2021, se evidenció que el parámetro transparencia continúa bajo una condición de saturación por incumplimiento normativo en algunas áreas de la Red Control. En tanto el fósforo disuelto, presenta cumplimiento normativo para las estaciones litorales, y en el caso de la estación PEL-CE, se presenta cumplimiento normativo referencial. Por su parte, clorofila “a” se encuentra en cumplimiento normativo para valores promedios como máximos.

En relación a esto último, cabe aclarar que los valores reportados para los parámetros fósforo disuelto y clorofila “a” objetos de la declaración de zona saturada por el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente, para el período bianual 2020-2021, no logran desvirtuar la necesidad de implementar el presente Plan. Lo anterior, se fundamenta en que:

- a) El parámetro transparencia, que justamente mantiene los valores de saturación en el período bianual 2020-2021, se encuentra estrechamente relacionado a los parámetros clorofila “a” y fósforo disuelto, sin que pueda pretenderse cumplir los niveles normativos de transparencia obviando la adopción de medidas necesarias para regular las emisiones de dichos otros dos parámetros.
- b) El cumplimiento normativo puntual del parámetro fósforo disuelto en el bienio 2020-2021 no logra desvirtuar la necesidad de implementar el Plan respecto a dicho parámetro. En efecto, y tal como ya se señaló, para el mismo período bianual, el fósforo total presentó niveles de latencia con posterioridad a dos periodos de saturación (2018-2019 y 2019-2020), existiendo una relación intrínseca entre dichos dos parámetros (fósforo disuelto y fósforo total). De esta manera, existiendo evidencia respecto a la saturación de un componente que, si bien no se encuentra declarado como saturado por el acto respectivo, sí se encuentra relacionado directamente al fósforo disuelto, su cumplimiento normativo puntual no logra desvirtuar la necesidad de implementar medidas que busquen regular las emisiones que puedan incidir en la presencia de dicho componente en la cuenca, o que permitan cumplir de manera satisfactoria y eficaz dicho parámetro.

Fuentes emisoras que generan contaminación del Lago Villarrica

1. Actividades económicas en la Cuenca

La cuenca del Lago Villarrica concentra sus actividades económicas en el turismo, la actividad agrícola, ganadera, forestal, industrial, acuícola, y en el último tiempo se ha expandido la industria inmobiliaria. En este contexto, los principales impactos sobre la cuenca se presentan en cuanto al deterioro de la calidad de sus aguas, producto de la emisión de nutrientes y otros contaminantes por descargas puntuales y difusas, así como la degradación del bosque nativo.

Adicionalmente, es de preocupación por parte del Estado, la ciudadanía y comunidades indígenas del sector, el uso de embarcaciones a motor en el lago, dado los posibles efectos en la calidad de las aguas, así como en la fauna acuática. Sin embargo, dada la falta de antecedentes técnico-científicos respecto al impacto que puede generar sobre el aporte de nutrientes y disminución de la transparencia al cuerpo acuático, no es posible aseverar dichos efectos, por ende, no se pueden establecer regulaciones al parque náutico.

Las actividades económicas y productivas en la cuenca del Lago Villarrica dependen en gran medida de la cantidad y calidad de sus aguas. Entre estas actividades destacan:

<sup>37</sup> SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (sma.gob.cl)

- a) Turismo. La existencia de las áreas protegidas que forman parte del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas es un valioso capital natural que hacen de esta cuenca, uno de los territorios más visitados de Chile. Así, el Parque Nacional Villarrica fue la tercera área protegida más visitada del país durante el año 2014, con 129.374 visitantes, sólo superada por el Parque Nacional Torres del Paine y el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales<sup>38</sup>. Según Sernatur (2018)<sup>39</sup>, la Región de La Araucanía tuvo un total de llegadas de 356.231 turistas y con una población ocupada en turismo de 16.178 personas en el 2013, lo que triplica el número de habitantes de estas comunas en los meses de verano. Las empresas de turismo registradas en Sernatur para las comunas de Villarrica, Pucón y Curarrehue, representan un 43% de las empresas a nivel regional. Asimismo, según información de SIET- Subsecretaría de Turismo, las ventas totales asociadas a la economía comunal representan un 53% para el caso de Pucón, seguido de Villarrica con un 12,1% y Curarrehue con un 11,3%. Entre las 3 comunas estos aportes del turismo a la economía comunal y regional superan los 200 Millones de dólares<sup>40</sup>.
- b) Pisciculturas. Según el estudio MMA (2011)<sup>41</sup>, la actividad de pisciculturas está relacionada con la producción de ovas y alevines, smolt de especies salmónidas. La localización de los proyectos es en función de la existencia de cursos de agua (ríos y vertientes) con una calidad adecuada. Del total de instalaciones identificadas en la región, 6 están en la comuna de Pucón, 4 en Villarrica y 3 en Curarrehue<sup>42</sup>. De acuerdo a la producción de peces, reportada por el Servicio Nacional de Pesca, para el año 2021 fueron producidos 1.922 Ton/año de biomasa de peces en la totalidad de las pisciculturas de la cuenca del Lago Villarrica.
- c) Silvoagropecuaria. Según el estudio de DGA-Norcontrol (2009)<sup>43</sup>, y sobre la base de los resultados del último CENSO agropecuario y forestal<sup>44</sup>, en las principales comunas de la cuenca existen 11.812 Unidades Productivas Agropecuarias (UPA), equivalentes a 215.755 ha. De este total, el 73% corresponde a explotaciones agropecuarias. Según el estudio MMA (2011)<sup>45</sup>, la mayor concentración de actividades se localiza en la comuna de Villarrica (dentro de la cuenca del Lago Villarrica), por presentar mejores condiciones geográficas para el desarrollo de la actividad. Si bien estas actividades generan un gran beneficio para la comunidad, de los análisis realizados se destaca que también aportan a la contaminación del agua del lago por un manejo inadecuado o inexistente de sus emisiones.
- d) Inmobiliario. Según los datos obtenidos del censo 2017, las comunas de Pucón y Villarrica son las que reportan un mayor crecimiento intercensal, entre 35% y 22%, respectivamente, según lo presentado en Tabla 1. Desde la década de los noventa las comunas de Villarrica y Pucón han sido lugar de destino de un grupo de población que, sin ser mayoritario ni predominante desde el punto de vista cuantitativo, utiliza el sector con fines turísticos<sup>46</sup>.

2. Inventario de emisiones

El año de cálculo del inventario de emisiones presentado en el Anteproyecto del Plan, refleja la carga emitida de las actividades puntuales y difusas que el Lago Villarrica recibe al año 2017. En este sentido, y considerando que en el periodo desde su elaboración las emisiones hacia la zona saturada pueden haber cambiado, se decide actualizar el inventario al año 2021, dada la información disponible.

Es importante mencionar que, si bien el fósforo disuelto es uno de los parámetros que dio origen a la saturación, se utilizaron datos tanto de fósforo disuelto como total para el cálculo de las concentraciones y emisiones, tomando como supuesto que los valores de fósforo disuelto son igual al fósforo total. Este supuesto se basa en el hecho que el fósforo disuelto corresponde a una fracción de fósforo total, por ende, el fósforo total sería al menos igual al fósforo disuelto. Adicionalmente, es relevante mencionar que el fósforo total se considera como parámetro limitante de las funciones biológicas y fisicoquímicas de los ecosistemas lacustres, por lo cual se considera clave para controlar

<sup>38</sup> Conaf (2014). Estadísticas de Visitación Snaspe 2014. Gerencia de Áreas Protegidas y Medio Ambiente Unidad de Planificación y Control de Gestión.

<sup>39</sup> Sernatur (2018). Destinos más visitados por turismo interno en el período diciembre 2017- marzo 2018.

<sup>40</sup> Sernatur (2008). Destinos más visitados por turismo interno en el período diciembre 2007- marzo 2008.

<sup>41</sup> MMA (2011). Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del Lago Villarrica.

<sup>42</sup> Sernapesca (2015). Estadísticas. Anuarios estadísticos 2015.

<sup>43</sup> DGA - Norcontrol (2009). Antecedentes para el análisis general del impacto económico y social de la norma de secundaria del Lago Villarrica / Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.

<sup>44</sup> INE (2021). VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2021.

<sup>45</sup> MMA (2011). Análisis general de impacto económico y social del anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del Lago Villarrica.

<sup>46</sup> Hidalgo & Zunino (2012). Negocio inmobiliario y migración por estilos de vida en la Araucanía Lacustre: La transformación del espacio habitado en Villarrica y Pucón.



los niveles tróficos de estos cuerpos de agua. El análisis con el detalle de la relación entre el fósforo total y disuelto se encuentra disponible en Minuta elaborada por el Ministerio del Medio Ambiente<sup>47</sup> que se incorpora en el expediente público.

En la tabla 12 se analizan las emisiones de los contaminantes fósforo total (PT) y nitrógeno total (NT), como parte de los nutrientes relevantes en el sistema lacustre. No obstante, las emisiones, cargas y reducciones se elaboran en torno a los cálculos realizados con el fósforo total. El análisis de las emisiones de ambos parámetros se realiza al año 2021, año en el cual se cuenta con la mayor cantidad de información validada por los organismos públicos.

Por otra parte, las fuentes emisoras han sido categorizadas en fuentes puntuales y difusas, de acuerdo a su procedencia. Para el proyecto definitivo, se consideró la incorporación de una nueva fuente de tipo difusa correspondiente a precipitaciones directas (Depositación atmosférica húmeda), la cual corresponde a la transferencia de elementos solubles que se encuentran en la atmósfera y son depositados sobre la superficie del espejo de agua por medio de la precipitación de las gotas de lluvia.

Emisiones puntuales

De acuerdo con los antecedentes del Ministerio del Medio Ambiente<sup>48</sup>, las fuentes de tipo puntual en la cuenca del Lago Villarrica dan como resultado un aporte para fósforo total de un 26,4% para pisciculturas, siendo estas el principal aporte de carga contaminante. Por su parte, se identificaron aportes puntuales de un 1,0% para la planta de tratamiento de aguas servidas de Pucón y un 1,8% de aporte del alcantarillado de Curarrehue. Los aportes de estas fuentes puntuales para fósforo equivalen a 79 Ton/año en total. Para el nitrógeno total, dan como resultado un aporte de un 30,7% para pisciculturas, un 1,4% para la planta de tratamiento de aguas servidas de Pucón y un 1% de aporte del alcantarillado de Curarrehue. Los aportes de NT de estas fuentes puntuales equivalen a 403 Ton/año en total. Tanto los valores de fósforo total como los de nitrógeno total se reportan respecto al total de emisiones de la cuenca, considerando fuentes antrópicas y puntuales.

Emisiones difusas

Los datos de fuentes difusas para fósforo total dan como resultado un aporte de un 1,0% para viviendas sin saneamiento en área concesionada (equivalente a 2,8 Ton/año), un 0,5% para viviendas sin saneamiento en sector borde lago (equivalente a 1,22 Ton/año), un 4,8% para viviendas sin saneamiento en área rural (13 Ton/año), 63,1% provenientes de aportes difusos (naturales y antrópicos) por cobertura de suelo de cada subcuenca que drena al Lago Villarrica (equivalente a 170,6 Ton/año) y un 1,4% correspondiente a precipitaciones directas (equivalente a 3,8 Ton/año). Para el caso del nitrógeno, estos aportes son 1,5%, 0,7%, 7,1%, 52,4%, 4,2% respectivamente y 780.8 Ton/año aproximadamente de aporte total entre estas fuentes.

Los resultados generales del inventario de emisiones año base 2021 se presentan a continuación:

Tabla 12. Inventario de Emisiones anual año base 2021.

| Fuente de Emisión                                                        | Tipo de Fuente | Aporte de Fósforo Total (Ton/año) | Aporte de Fósforo Total (%) | Aporte de Nitrógeno Total (Ton/año) | Aporte de Nitrógeno Total (%) |
|--------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Cobertura de Suelos Naturales de la cuenca                               | Difusa         | 136,6                             | 50,5                        | 384,6                               | 32,5                          |
| Pisciculturas                                                            | Puntual        | 71,5                              | 26,4                        | 364,0                               | 30,7                          |
| Coberturas de suelos Antrópicos de la cuenca (urbano, silvoagropecuario) | Difusa         | 34,0                              | 12,6                        | 235,6                               | 19,9                          |
| Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en área no concesionada.  | Difusa         | 13,0                              | 4,8                         | 84,5                                | 7,1                           |
| Alcantarillado Curarrehue                                                | Puntual        | 4,9                               | 1,8                         | 23,1                                | 2,0                           |
| Precipitaciones directas                                                 | Difusa         | 3,8                               | 1,4                         | 50,3                                | 4,2                           |

<sup>47</sup> Ministerio del Medio Ambiente. (2024). Actualización Minuta “Inventario de emisiones Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica”.

<sup>48</sup> Ministerio del Medio Ambiente. (2020). Minuta “Inventario de emisiones Plan de Descontaminación de la cuenca del Lago Villarrica”. Disponible en [http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Minuta\\_Inventario\\_de\\_Emisiones\\_Carga\\_Critica\\_PDAV.pdf](http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Minuta_Inventario_de_Emisiones_Carga_Critica_PDAV.pdf).

| Fuente de Emisión                                                   | Tipo de Fuente | Aporte de Fósforo Total (Ton/año) | Aporte de Fósforo Total (%) | Aporte de Nitrógeno Total (Ton/año) | Aporte de Nitrógeno Total (%) |
|---------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en área concesionada | Difusa         | 2,8                               | 1,0                         | 17,9                                | 1,5                           |
| Empresas de Servicios Sanitarios                                    | Puntual        | 2,8                               | 1,0                         | 16,0                                | 1,4                           |
| Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en borde lago.       | Difusa         | 1,22                              | 0,5                         | 7,9                                 | 0,7                           |
| Total                                                               |                | 270,5                             | 100,0                       | 1183,9                              | 100,0                         |

Fuente: Elaboración propia en base a metodología del estudio MMA-UFRO (2020)<sup>49</sup>.

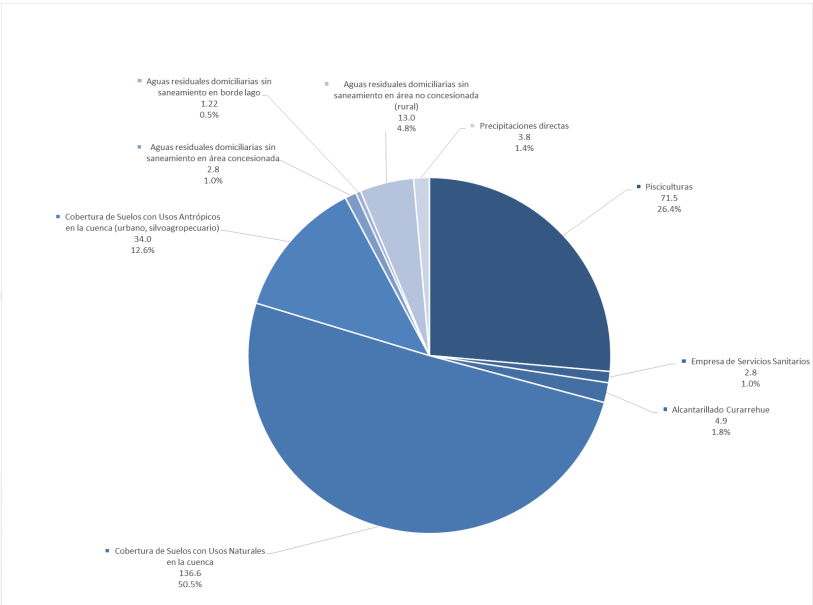


Figura 2. Inventario de Emisiones de fósforo total (toneladas al año). Año base 2021.

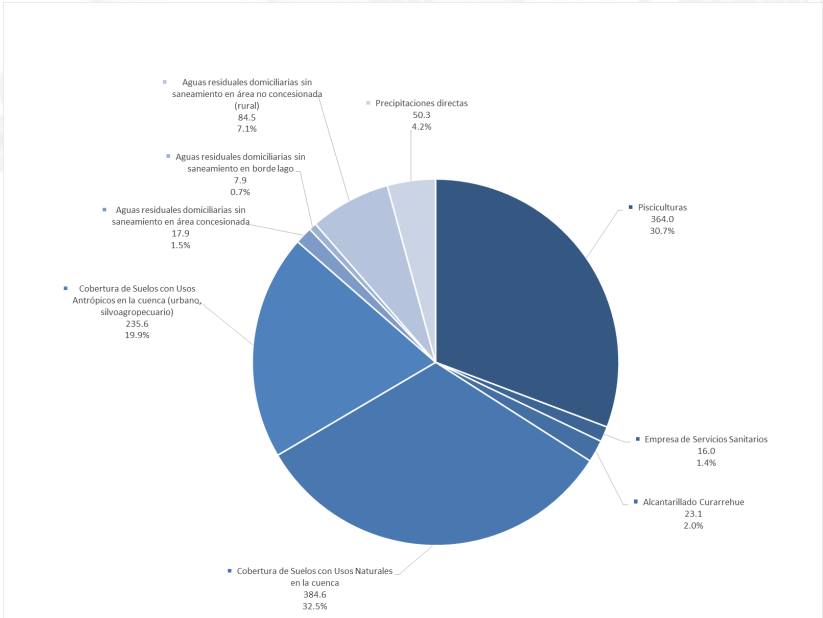


Figura 3. Inventario de Emisiones de nitrógeno total (toneladas al año). Año base 2021.

<sup>49</sup> MMA-UFRO (2020). Evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en base al análisis de Escenarios, como insumo para la preparación del anteproyecto del PD de la cuenca del Lago Villarrica.

Sobre las metas del Plan

Considerando los valores de fósforo disuelto, transparencia y clorofila “a” medidos por la DGA y validados por la SMA en el periodo 2014-2015 y 2015-2016, es necesario incorporar medidas de control de emisiones para nutrientes que permitan cumplir con las metas de calidad del agua del Plan en los plazos propuestos.

La meta del Plan es recuperar los niveles de parámetros fisicoquímicos regulados por la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica (decreto supremo N° 19, de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente).

Para cumplir el objetivo de disminuir las concentraciones ambientales de fósforo disuelto y clorofila “a” y aumentar la transparencia en el Lago Villarrica, se establecen medidas que reducen las emisiones de nutrientes en la cuenca del lago. En particular, las medidas se centran en la reducción de emisiones de fósforo, ya que es naturalmente limitante<sup>50</sup> para la producción primaria, es decir, es un nutriente escaso que restringe el crecimiento de biomasa en los ecosistemas acuáticos.

La emisión de fósforo total no debe exceder la carga crítica para mantener una concentración promedio de 10 µg/L en el lago. El cálculo de carga crítica mediante las ecuaciones propuestas en paralelo por Vollenweider<sup>51</sup> y Larsen<sup>52</sup> da por resultado 203,10 toneladas de fósforo total al año. Comparando este valor con la magnitud del inventario de emisiones del año base 2021, la meta de reducción de emisión de fósforo total debe ser como mínimo de 67,40 toneladas anuales.

Las principales medidas de reducción de emisiones se implementarán dentro de los primeros tres años desde la entrada en vigencia del presente Plan, por lo que el efecto que estas tendrán sobre las concentraciones ambientales del lago dependerá de su tiempo de respuesta. Según las ecuaciones propuestas por la OCDE<sup>53</sup>, este podría llegar a ser hasta 12<sup>54</sup> años, por lo que las concentraciones esperadas en el Lago Villarrica se podrían alcanzar, a más tardar, a los 15 años de implementación del Plan en un escenario conservador.

Para alcanzar la meta de reducción requerida por el Plan, las fuentes identificadas deberán reducir sus emisiones de fósforo total según lo presentado en la Tabla 13.

Las reducciones contenidas en la siguiente tabla fueron definidas mediante criterios de costo-efectividad, proporcionalidad entre las fuentes emisoras y disponibilidad de tecnologías de tratamiento y abatimiento para los diversos rubros.

Tabla 13. Reducción por fuente de emisión.

| Fuente de Emisión                                                   | Reducción de fósforo total (Ton/año) | Reducción relativa al Inventario de Emisiones (%) |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| **Pisciculturas                                                     | 59                                   | 82%                                               |
| Alcantarillado Curarrehue                                           | 4,39                                 | 90%                                               |
| Coberturas de suelos Antrópicos de la cuenca                        | 4,79                                 | 14%                                               |
| Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en área concesionada | 2,39                                 | 85%                                               |
| Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en zona rural        | 1,96                                 | 15%                                               |
| Total                                                               | 73                                   | 27%                                               |

\* El porcentaje de reducción es calculado de acuerdo al valor de reducción por cada fuente de emisión definido en el inventario de emisiones (Tabla 12).

\*\* Este cálculo equivale a un total de 13 pisciculturas operativas dentro de la zona saturada, acorde a Informe (UFRO, 2020) <sup>55</sup>

La siguiente Tabla muestra las concentraciones estimadas para cada parámetro saturado en cada área de vigilancia. Lo anterior, considerando las relaciones propuestas por la OCDE<sup>56</sup>, la data histórica obtenida de monitoreos del lago, en cada una de las áreas de vigilancia, y una emisión de fósforo total menor al valor de carga crítica.

<sup>50</sup> Correll, D. L. (1999). Phosphorus: A Rate Limiting Nutrient in Surface Waters. *Symposium: Focus on Phosphorus*.  
<sup>51</sup> Vollenweider, R. A. (1976). Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication.  
<sup>52</sup> Larsen D. O., a. H. (1976). Phosphorus retention capacity of lakes. Oregon, USA.  
<sup>53</sup> OCDE. (1982). Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. París.  
<sup>54</sup> Jeppesen et. al. (2005). Lake responses to reduced nutrient loading - an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies.  
<sup>55</sup> UFRO, (2020). 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 Villarrica. Elaborado por Universidad de la Frontera.  
<sup>56</sup> OCDE. (1982). Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. París.



Tabla 14. Concentraciones promedio y valores promedio esperados para cada área de vigilancia y parámetro incluido en la declaratoria de zona saturada por área de vigilancia al final del periodo de implementación del Plan.

|                         | Concentración o valor esperado |          |           |           |                |         |
|-------------------------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|----------------|---------|
|                         | PEL<br>(centro)                | LIT-Poza | LIT-Pucón | LIT-Norte | LIT-Villarrica | LIT-Sur |
| Fósforo Total (mg/L)    | 0,01                           | 0,008    | 0,005     | 0,006     | 0,010          | 0,006   |
| Fósforo Disuelto (mg/L) | 0,005                          | 0,006    | 0,005     | 0,005     | 0,007          | 0,005   |
| Clorofila “a” (µg/L)    | 2,5                            | 2,9      | 2,7       | 2,8       | 4,6            | 3,9     |
| Transparencia (m)       | 9,0                            | 7,9      | 8,5       | 9,3       | 8,5            | 8,8     |

3. Indicadores de efectividad

Para evaluar si el Plan tiene el efecto esperado en la calidad del agua, se definen los siguientes indicadores:

- 1) Aumento de los valores promedio bianuales de transparencia del agua en la zona pelágica y litorales respecto a la condición de saturación.
- 2) Disminución de los valores promedio bianuales de clorofila “a” en las áreas de vigilancia de la zona pelágica y litorales respecto a la condición de saturación.
- 3) Disminución de los valores promedio de fósforo disuelto y total bianuales en las áreas de vigilancia de la zona pelágica y litorales respecto a la condición de saturación.

Estos indicadores están en relación con el cumplimiento de los niveles establecidos en la NSCA para el Lago Villarrica.

Para confirmar la efectividad de la aplicación de las medidas, a contar de la publicación del presente Plan, el Ministerio del Medio Ambiente actualizará el Inventario de Emisiones para fósforo total y nitrógeno total cada tres años, verificando la reducción de carga respecto al año base 2021.

Adicionalmente, a cuatro años de la entrada en vigencia del Plan o su más reciente actualización, la Seremi del Medio Ambiente de la Región de la Araucanía encargará una auditoría al Plan y a la implementación de las medidas contenidas.

Beneficios y costos del PDA

El reglamento para la dictación de planes de prevención y de descontaminación dispone que el Plan debe incluir, en su etapa de elaboración de anteproyecto, un Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES), el cual evalúa los costos y beneficios de las medidas establecidas en el Plan.

Para la evaluación mencionada se consideraron las siguientes medidas de reducción de emisiones contenidas en el Plan y las cuales se explican en el documento AGIES PDA Lago Villarrica que se encuentra como anexo a este Plan: (i) norma de emisión por carga para pisciculturas, (ii) implementación de una planta de tratamiento de aguas servidas para la comuna de Curarrehue, (iii) reforestación con especies nativas en franjas riparianas (ribera de cauces), (iv) conexión a alcantarillado para aquellas viviendas ubicadas en áreas concesionadas y (v) soluciones sanitarias para conjuntos de viviendas rurales.

El diseño de las medidas se estableció considerando la proporcionalidad del impacto que estas generan sobre la concentración del lago. De esta manera, aquellos sectores con una mayor emisión de fósforo total deberán realizar los mayores esfuerzos en su reducción. Las medidas con mayor impacto en la reducción de emisiones corresponden a: i) la Norma de Emisión para el sector de pisciculturas, con un 78% del total de reducciones; ii) la reforestación en franjas riparianas, con un 8%; iii) la construcción de la Planta de Tratamiento de Curarrehue, con un 6%; iv) la conexión de viviendas al alcantarillado en la zona concesionada, con un 5%; y, v) las soluciones sanitarias en zonas rurales, con un 3% de la reducción total de las emisiones.

La reducción de emisiones de fósforo total requerida por el Plan se traduce, a su vez, en reducciones en las concentraciones de fósforo disuelto, clorofila “a” y aumento de la transparencia. Estos resultados indican que, una vez implementadas las medidas del Plan, se logra el cumplimiento de los niveles propuesto por la Norma Secundaria de Calidad de Agua del Lago Villarrica en todas las áreas de vigilancia, para los parámetros Fósforo Total, Nitrógeno Total, Transparencia y Clorofila “a”. La reducción de emisiones debido a la implementación del Plan es progresiva, alcanzando valores bajo la carga crítica y a partir del cuarto año desde la entrada en vigencia del Plan. Estas reducciones de las emisiones se verán reflejadas en mejoras de las concentraciones ambientales del Lago Villarrica entre cuarto y el sexto año -considerando un tiempo de respuesta del lago de 3 años-. Se espera que las reducciones en concentración se mantengan incluso después de 15 años desde la entrada en vigencia del Plan.

Los beneficios valorizados de la implementación del Plan se estiman en US\$ 3.260,74 millones en valor presente para un horizonte de evaluación de 15 años. Estos beneficios son atribuibles al valor que la sociedad le otorga a mantener el Lago Villarrica bajo los niveles normados, y se obtuvieron

a través de la disposición a pagar (DAP) a nivel nacional para valores de uso y de no uso del Lago Villarrica -considera toda la población del país (mayores a 18 años) y solo el período donde se genere el cumplimiento, esto es desde el año 2028 al año 2040-, dado el cumplimiento de los límites normativos establecidos en la NSCA del Lago Villarrica.

De acuerdo al análisis efectuado en el AGIES, los costos asociados a la implementación del Plan, considerando un horizonte de evaluación de 15 años, ascienden a US\$ 56,13 millones de dólares en valor presente y se descomponen en un 34% de costos para el Estado, en donde se abordan las medidas asociadas a: Construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Curarrehue; implementación de programa de soluciones sanitarias rurales; programa de restauración y reforestación con vegetación nativa y aumento de monitoreo de calidad del agua. Por otra parte, un 66% de costos corresponden a agentes privados, los cuales principalmente consideran la implementación de una norma de emisión acuícola y conexiones de alcantarillado en zona concesionada. Un resumen se muestra en la Figura 4.

Considerando los resultados de este análisis, la razón beneficio-costo es de 58,09 veces los beneficios por sobre los costos. Por su parte, el beneficio total neto del plan se estima en US\$ 3.204,61 millones. Estos indicadores sugieren una alta rentabilidad social asociada a la implementación del plan.

Este análisis de beneficios y costos permite concluir que el Plan, junto con propiciar el cumplimiento de las normas vigentes del Estado de Chile, es consistente con los compromisos del Ministerio de Medio Ambiente al crear instrumentos que disminuyan la contaminación y que promuevan la protección de la biodiversidad y los ecosistemas.

| Medida Evaluada                             | Estado<br>[MM USD] | Privado<br>[MM USD] | Estado % | Privado % |
|---------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------|-----------|
| Norma de Emisión sector Pisciculturas       | 0,00               | 34,69               | 0,00%    | 93%       |
| Construcción PTAS Curarrehue                | 2,34               | 0,00                | 12,45%   | 0%        |
| Conexion alcantarillado Zona Concesionada   | 0,00               | 2,60                | 0,00%    | 6,98%     |
| Soluciones sanitarias domiciliarias rurales | 5,56               | 0,00                | 29,54%   | 0,00%     |
| Reforestación                               | 10,27              | 0,00                | 54,54%   | 0,00%     |
| Aumento de Monitoreos                       | 0,65               | 0,00                | 3,47%    | 0,00%     |
| Sub total                                   | 18,83              | 37,30               | 33,55%   | 66,45%    |
| Total                                       | 56,13              |                     | 100%     |           |

Figura 4. Costos de las medidas evaluadas en AGIES del Plan.

Fuente: AGIES del Proyecto Definitivo del Plan de Descontaminación del Lago Villarrica.

CAPÍTULO II. DEFINICIONES

Artículo 3.- Para efectos de lo dispuesto en el presente Plan, se entenderá por:

- a) Acuicultura: actividad que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos organizada por el hombre.
- b) Área concesionada: área geográfica definida mediante decreto supremo, donde se prestan los servicios públicos de producción y distribución de agua potable y de recolección y tratamiento de aguas servidas, por empresas de servicios sanitarios reguladas en el decreto con fuerza de ley N° 382, de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, que fija la Ley General de Servicios Sanitarios.
- c) Área de servicio: área geográfica donde se prestarán servicios de distribución de agua potable y de recolección de aguas servidas en zonas rurales.
- d) Área urbana: superficie del territorio ubicada al interior del límite urbano destinada al desarrollo armónico de los centros poblados y sus actividades existentes y proyectadas por el instrumento de planificación territorial.
- e) Biomasa producida para el cálculo de fósforo: corresponde a la biomasa de peces producida durante un periodo específico, calculada de la siguiente manera: (biomasa recolectada + biomasa de las muertes + biomasa existente restante) - la biomasa existente al inicio del periodo<sup>57</sup>.
- f) Carga crítica: tasa máxima de ingreso de nutrientes (masa en un periodo de tiempo) que permite mantener la condición de oligotrofia en el lago.
- g) Canal urbano: álveo o cauce natural de dimensiones perceptibles que conduce agua en forma periódica o continua o que forma conexión entre dos cuerpos de agua, donde su curso atraviesa por el área urbana.
- h) Capacidad de producción: producción anual de cada piscicultura, autorizada mediante Resolución de Calificación Ambiental, o la autorización sectorial pertinente.
- i) Cuenca hidrográfica: territorio cuyas aguas fluyen o drenan a un mismo río, lago o mar delimitada por las altas cumbres o divisorias de aguas.

<sup>57</sup> Estándar ASC para Salmones Versión 1.3.

- j) Centro de cultivo: lugar e infraestructura donde se realizan actividades de acuicultura.
- k) Cianobacterias: división a la que pertenecen los organismos procariotas unicelulares fotosintéticos, que carecen de núcleo definido u otras estructuras celulares especializadas. Contienen clorofila en su interior, posibilitando la fotosíntesis. Cuando estos organismos tienen un rápido crecimiento, se habla de “bloom” o “florecimiento algal”.
- l) Compensación de emisiones: neutralización de emisiones contaminantes que se emite a un medio acuático por fuentes puntuales y/o difusas y tiene por finalidad producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente o superior a un efecto adverso identificado.
- m) CONAF: Corporación Nacional Forestal.
- n) CORFO: Corporación de Fomento a la Producción.
- o) Depositación atmosférica húmeda: transferencia de elementos solubles que se encuentran en la atmósfera hacia la superficie terrestre mediante el arrastre de las gotas de lluvia.
- p) Entidades Técnicas de Fiscalización Ambiental o ETFAS: personas jurídicas habilitadas para realizar actividades de fiscalización ambiental, según el alcance de la autorización que le ha otorgado la SMA de acuerdo al decreto supremo N° 38, de 15 de octubre de 2013, del Ministerio del Medio Ambiente, que “Aprueba reglamento de entidades técnicas de fiscalización ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente”, o el que lo reemplace.
- q) Fertilizante: sustancia orgánica o inorgánica que contiene elementos químicos que mejoran el crecimiento de las plantas y la fertilidad del suelo.
- r) Forestación: acción de poblar con especies arbóreas o arbustivas terrenos que carezcan de ellas, o que, estando cubiertos de dicha vegetación, esta no sea susceptible de ser manejada para constituir una masa arbórea o arbustiva con fines de preservación, protección o producción.
- s) FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
- t) Fósforo total (PT): suma de todas las formas de fósforo presentes en una muestra sin filtrar.
- u) Fuentes difusas: fuentes dispersas respecto de las cuales no resulta posible obtener información desglosada de sus emisiones.
- v) Fuentes Puntuales: fuentes donde la ubicación del punto de descarga, generación o emisión al medio ambiente es plenamente identificable.
- w) Gobierno Regional: Gobierno Regional de La Araucanía.
- x) Humedal: ecosistemas asociados a sustratos saturados temporal o permanentemente, los cuales permiten la existencia y desarrollo de biota acuática.
- y) INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- z) Licenciataria: comité o cooperativa y, excepcionalmente, la persona natural o jurídica, a la que se ha otorgado licencia para operar servicios sanitarios rurales.
- aa) Línea de las aguas máximas en ríos y lagos: Nivel hasta donde llegan las aguas en los ríos o lagos, en sus crecientes normales de invierno y verano. Para su determinación se estará a lo definido por el Ministerio de Bienes Nacionales conforme a los procedimientos establecidos en el decreto supremo N° 609 de 1978, de esa Secretaría de Estado, o en su defecto, a las instrucciones impartidas por la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.
- bb) Lodo de piscicultura: residuo generado en una planta de tratamiento de efluentes de pisciculturas.
- cc) Lodo de piscicultura en base seca: fracción sólida del lodo de piscicultura.
- dd) MMA: Ministerio del Medio Ambiente.
- ee) Mesotrofia: propiedad de las aguas de lagos con poca transparencia, concentración media de nutrientes y nivel intermedio de productividad, que no son ni oligotróficos ni eutróficos (estado intermedio).
- ff) Mortalidad anual de la piscicultura: resultado de la suma de la biomasa de mortalidades y eliminación de la piscicultura durante un año calendario.
- gg) Nitrógeno total: suma de todas las formas de nitrógeno presentes en el agua, incluidos el amoníaco y el nitrógeno enlazado orgánicamente (nitrógeno total Kjeldahl), el nitrito y el nitrato.
- hh) Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK): combinación de amoníaco y nitrógeno orgánico. Sin embargo, no incluye nitrógeno en forma de nitrito ni nitrógeno en forma de nitrato.
- ii) NSCA: normas secundarias de calidad ambiental.
- jj) Oligotrofia: propiedad de las aguas de lagos profundos de alta montaña, caracterizados por la presencia de baja biomasa fitoplanctónica, una alta transparencia del agua y una limitada concentración de nutrientes, para cuya medición se utiliza, generalmente, el Índice de Estado Trófico de Carlson (TSI, Trophic Status Index).
- kk) Oxígeno Disuelto (OD): cantidad de oxígeno disuelto en el agua, que permite identificar si ésta puede dar soporte a la vida vegetal y animal.
- ll) PDAV o Plan: plan de descontaminación por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del Lago Villarrica.
- mm) Piscicultura: centro de cultivo de peces emplazado en un terreno, cualquiera sea su régimen de propiedad o uso, que se abastece de aguas provenientes de derechos de aprovechamiento de aguas o de aguas provenientes del ejercicio de una concesión marítima, inscrito en el Registro Nacional de Acuicultura.



- nn) Piscicultura existente: centro de cultivo de peces que se encuentra inscrito en el Registro Nacional de Acuicultura, a cargo del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, a la entrada en vigencia del presente Plan.
- oo) Piscicultura nueva: centro de cultivo de peces que no se encuentra inscrito en el Registro Nacional de Acuicultura, a cargo del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura, a la entrada en vigencia del presente Plan.
- pp) Plan de adecuación: descripción detallada de las modificaciones necesarias a realizar en alguna etapa del proyecto, para asegurar el cumplimiento de la norma de emisión establecida para el sector piscicultura.
- qq) Producción: en el caso de las pisciculturas se entenderá por producción el resultado de la suma de todos los egresos, expresados en toneladas, kilos o unidades, descontados los ingresos de ejemplares efectuados en el mismo período<sup>58</sup>.
- rr) Programa de Medición y Control de Calidad Ambiental: programa sistemático de monitoreo, o conjunto de ellos, destinado a caracterizar, medir, controlar y evaluar la variación de la calidad de las aguas en estaciones de vigilancia, en función de aquellos parámetros regulados en una norma secundaria de calidad ambiental, en un período de tiempo y espacio determinado.
- ss) Planta(s) de Tratamiento de Aguas Servidas o PTAS: conjunto de operaciones y procesos secuenciales físicos, químicos, biológicos, o combinación de ellos, naturales o artificiales, posibles de controlar, que se desarrollan en instalaciones diseñadas y construidas de acuerdo a criterios técnicos específicos para este tipo de obras y cuyo propósito es reducir la carga contaminante de las aguas residuales para adecuarla a las exigencias de descarga al cuerpo receptor. Bajo este concepto se incluyen, entre otros, lagunas de estabilización, lodos activados, y emisarios submarinos aprobados por la autoridad competente.
- tt) RCA: Resolución de Calificación Ambiental.
- uu) Registro nacional de acuicultura: nómina nacional de titulares de concesiones y autorizaciones de acuicultura, habilitados para efectuar actividades de cultivo, que lleva el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- vv) Residuos líquidos, aguas residuales o efluentes: aquellas aguas que se descargan desde una fuente emisora a un cuerpo receptor.
- ww) Reforestación: acción de repoblar con especies arbóreas o arbustivas, mediante siembra, plantación o manejo de la regeneración natural, un terreno que haya estado cubierto con bosque y que haya sido objeto de explotación con posterioridad al 28 de octubre de 1974.
- xx) Rehabilitación: medida que busca la reparación de un ecosistema dañado, no su “recreación”, y al menos la recuperación de algunas especies originales y ciertas funciones del ecosistema. La rehabilitación se centra en las especies dominantes, retrasando su acción sobre especies raras y poco comunes, que son parte de un programa completo de restauración.
- yy) Restauración ecológica: acción humana cuyo objetivo es facilitar el tránsito del ecosistema degradado hacia algún estado de referencia histórico, que es representativo de la condición pre-perturbación, sea esta natural o semi-natural.
- zz) SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.
- aaa) Saneamiento: recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas y manejo de sus lodos. Para efectos del presente Plan, no se consideran las fosas sépticas como saneamiento.
- bbb) SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- ccc) Servicios ecosistémicos: contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano, siendo clasificados en servicios de regulación, provisión y culturales.
- ddd) SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- eee) Seremi del Medio Ambiente: Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente de la Región de la Araucanía.
- fff) Seremi de Salud: Secretaría Regional Ministerial de Salud de la Región de la Araucanía.
- ggg) SERNATUR: Servicio Nacional de Turismo.
- hhh) SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- iii) Sistema de Alerta Temprana: sistema que busca entregar de forma anticipada información a la ciudadanía de los posibles riesgos asociados al uso recreativo de las aguas del lago.
- jjj) SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.
- kkk) Soluciones basadas en la naturaleza o SBN: acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan desafíos de la sociedad como el cambio climático, la seguridad alimentaria e hídrica o el riesgo de desastres, de manera eficaz y adaptativa, al mismo tiempo que proporcionan beneficios para el desarrollo sustentable y la biodiversidad.
- III) SSSR: Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales.

<sup>58</sup> Decreto supremo N° 320/2001, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Reglamento Ambiental para la acuicultura.

- mmm) SUBDERE: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.
- nnn) SUBPESCA: Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.
- ooo) Transparencia: propiedad óptica del cuerpo de agua que se relaciona con la capacidad de permitir el paso de luz, medida mediante el uso del Disco Secchi y que permite determinar el buen estado físico-químico de los lagos, aguas costeras y aguas de transición, y se relaciona con una baja cantidad de partículas en suspensión.
- ppp) Trofia: categoría de calidad de un cuerpo de agua, representada por el nivel de productividad biológica determinada por la concentración de nutrientes y los factores físicos y químicos que éste presente.
- qqq) Veril 25: punto del lago medido desde la tierra (línea de baja mar), donde el fondo alcanza una profundidad de 25 metros.
- rrr) Vivienda nueva o proyecto inmobiliario nuevo: toda vivienda o conjunto de viviendas cuya solicitud de permiso de edificación sea ingresada con posterioridad a la entrada en vigencia del presente Plan.
- sss) Zona de amortiguación (o buffer): área definida por la Seremi del Medio Ambiente, que corresponde a la zona que por su naturaleza y ubicación requiere una protección especial para garantizar que las actividades que en ella se desarrollan no impacten significativamente en la calidad de cursos y cuerpos de aguas de la cuenca, tales como, ríos, esteros, arroyos, lagunas, lagos, acuíferos y otros humedales.
- ttt) Zona Saturada: cuenca hidrográfica que drena al Lago Villarrica, delimitada en el decreto supremo N° 43, de 2017, del Ministerio del Medio Ambiente.

CAPÍTULO III. REGULACIÓN PARA EL CONTROL DE EMISIONES ASOCIADAS A FUENTES PUNTUALES

1. Regulaciones y medidas referidas a las pisciculturas

**Artículo 4.-** Los residuos líquidos de las pisciculturas existentes y nuevas, que se encuentren emplazadas total o parcialmente en la zona saturada deberán cumplir los siguientes límites de emisión para fósforo total por carga:

Tabla 15.- Norma de Emisión por carga para Pisciculturas en la cuenca del Lago Villarrica.

| Capacidad de Producción anual               | Límite de Emisión (kg PT/año) | Entrada en vigencia pisciculturas nuevas        | Entrada en vigencia pisciculturas existentes                 |
|---------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Menor o igual a 8 toneladas                 | 80                            | A partir de la publicación en el Diario Oficial | A partir de 4 años desde la publicación en el Diario Oficial |
| Mayor a 8 toneladas y menor o igual a 151   | 560                           | A partir de la publicación en el Diario Oficial | A partir de 3 años desde la publicación en el Diario Oficial |
| Mayor a 151 toneladas y menor o igual a 301 | 1.000                         | A partir de la publicación en el Diario Oficial | A partir de 3 años desde la publicación en el Diario Oficial |
| Mayor a 301 toneladas y menor o igual a 500 | 1.700                         | A partir de la publicación en el Diario Oficial | A partir de 2 años desde la publicación en el Diario Oficial |
| Mayor a 500 toneladas                       | 2.100                         | A partir de la publicación en el Diario Oficial | A partir de 2 años desde la publicación en el Diario Oficial |

En un plazo de 3 meses contado desde la publicación del acto administrativo que aprueba la metodología dispuesta en el inciso segundo del artículo 5, los titulares de las pisciculturas existentes deberán presentar a la Seremi del Medio Ambiente una declaración jurada del representante legal de la piscicultura, donde se establezca el cumplimiento de la norma de emisión señalada. A esta declaración, el titular deberá adjuntar un plan de adecuación donde se incorporen las formas, condiciones, metodologías, ajustes en la producción y antecedentes necesarios para que el proyecto pueda dar conformidad a los límites establecidos según corresponda y toda medida necesaria para su cumplimiento.

Tanto la declaración jurada como el plan de adecuación podrán ser objeto de observaciones y/o ajustes por parte de una comisión revisora que se constituirá para tales efectos. La presentación del titular con la declaración jurada y el plan de adecuación deberá ser aprobada o rechazada en un plazo de 4 meses desde su presentación mediante resolución de la Seremi del Medio Ambiente. No presentar la declaración jurada y el plan de adecuación constituirá un incumplimiento al presente Plan de Descontaminación, lo que podrá ser sancionado por la SMA.

El plan de adecuación contendrá, al menos, lo siguiente:

- i. Estimación de las emisiones anuales de la piscicultura, incluyendo un escenario base y un escenario futuro tras la implementación de las medidas del plan de adecuación.
- ii. Caracterización del porcentaje de fósforo en el lodo en base seca generados en la piscicultura.

- iii. Las medidas necesarias para dar cumplimiento a los límites señalados en la Tabla 15, incluyendo una estimación de la reducción de emisiones atribuible a cada medida.
- iv. Antecedentes que justifiquen las medidas propuestas.
- v. Forma, oportunidad y ubicación de las medidas a implementar, con un indicador de cumplimiento.
- vi. Cronograma de implementación, que considere todas las etapas para la implementación del plan de adecuación y la periodicidad en que informará a la SMA sobre el estado de avance de las actividades comprometidas, con una frecuencia no mayor a semestral.

En un plazo de tres meses contados desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente elaborará un manual de buenas prácticas para la reducción de emisiones de fósforo al interior de pisciculturas, basado en experiencias e investigaciones internacionales sobre el manejo sustentable del fósforo.

**Artículo 5.-** Las pisciculturas sujetas a los límites establecidos en el artículo anterior deberán reportar trimestralmente a la SMA, de forma consolidada, la carga de fósforo total mensual emitida al cuerpo de agua receptor, durante los primeros veinte días hábiles después de cumplirse dicho período. Asimismo, deberán presentar un reporte consolidado dentro del mes de marzo de cada año, con la carga de fósforo total anual emitida al cuerpo de agua receptor entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año anterior. No realizar el reporte constituirá un incumplimiento a la norma de emisión, el que podrá ser sancionado por la SMA.

La carga de fósforo total emitida al cuerpo de agua receptor será calculada mediante una metodología establecida por la SMA, dentro de un plazo de tres meses contados desde la publicación del Plan. Esta metodología abordará a su vez las estimaciones que debe contener el plan de adecuación referido en el artículo 4. El acto administrativo que apruebe dicha metodología deberá publicarse en el Diario Oficial.

Adicionalmente, cada piscicultura deberá reportar trimestralmente a la SMA, de manera consolidada, durante los primeros veinte días hábiles después de cumplirse dicho período, los siguientes datos:

- i. Biomasa al inicio de cada mes del trimestre reportado (kg).
- ii. Biomasa remanente al final de cada mes del trimestre reportado (kg).
- iii. Mortalidad y eliminación de cada mes del trimestre reportado (kg).
- iv. Producción de la Piscicultura en cada mes del trimestre reportado (kg).
- v. Cantidad de alimentos suministrados en cada mes del trimestre reportado (kg) y sus composiciones (porcentaje de fósforo total, nitrógeno total, entre otros).
- vi. Cantidad de lodos en base seca generados cada mes del trimestre reportado (kg) y su composición química (porcentaje de fósforo total, nitrógeno total, entre otros,) con respaldo de resultados de laboratorio.
- vii. Carga de fósforo emitida al cuerpo receptor en cada mes del trimestre reportado y el valor anual acumulado a la fecha de emisión del reporte (kg PT).
- viii. Carga de fósforo emitida al cuerpo receptor por tonelada de biomasa producida en cada mes del trimestre reportado y el valor anual acumulado a la fecha de emisión del reporte (kg PT/Ton biomasa).

Para el caso de la acuicultura de pequeña escala, el contenido del reporte se establecerá en el programa de fiscalización de pisciculturas indicado en el artículo 7 del presente Plan, de conformidad con lo establecido en el decreto supremo N° 45, de 2021, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

**Artículo 6.-** Las pisciculturas sujetas a los límites de emisión del artículo 4 deberán monitorear los siguientes parámetros, tanto en sus captaciones de agua como en sus descargas de RILES:

- a) Nutrientes (mg/L):
  - i. Nitrógeno Total (NT)
  - ii. Nitrato (N-NO3)
  - iii. Nitrito (N-NO2)
  - iv. Nitrógeno Amoniacal (N-NH4)
  - v. Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)
  - vi. Fósforo total (PT)
  - vii. Fósforo disuelto (P-PO4)
- b) Parámetros operacionales:
  - i. Conductividad (uS/cm)
  - ii. pH
  - iii. Oxígeno Disuelto (ppm)
  - iv. Caudal (m3/s)
  - v. Temperatura (°C)



El monitoreo se debe efectuar en cada una de las descargas de las pisciculturas en períodos de máxima producción, mediante muestras compuestas, obtenidas de la mezcla homogénea de muestras puntuales tomadas en un periodo de 24 horas con un intervalo máximo de 2 horas. La medición y análisis de las muestras deberá considerar al menos los límites de detección mínimos establecidos en la resolución exenta N° 671, de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que dicta el programa de medición y control de la calidad ambiental del agua para las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica, o la que la reemplace. El monitoreo deberá realizarse por ETFAs con una frecuencia mínima de 3 veces al mes. Los reportes de monitoreo deberán enviarse trimestralmente a la SMA, durante los primeros veinte días hábiles después de cumplirse dicho período.

El monitoreo de conductividad, pH, oxígeno disuelto, temperatura y caudal deberá realizarse en cada una de las captaciones y descargas de las pisciculturas, en un punto que no sea afectado por el cuerpo receptor y medirse en línea de manera continua, siguiendo los lineamientos establecidos en la resolución exenta N°252, de fecha 10 de febrero de 2020, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que aprueba instructivo técnico para la conexión en línea con los sistemas de información de la Superintendencia del Medio Ambiente, y en la resolución exenta N°254, de fecha 10 de febrero de 2020, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que aprueba manual API REST - SMA. Versión 1.0 - febrero 2020, o las que las reemplacen. Además, un reporte de monitoreo de estos parámetros deberá remitirse trimestralmente a la SMA, durante los primeros veinte días hábiles después de cumplirse dicho período.

**Artículo 7.-** A partir de la publicación del presente Plan, la SMA, previa consulta a Sernapesca, establecerá, cada mes de diciembre, un programa de fiscalización a las pisciculturas ubicadas en la zona saturada para el año siguiente respectivo. Estas tareas serán publicadas mediante el Programa Anual de Fiscalización Ambiental de Planes de Descontaminación.

El programa deberá incluir, como mínimo, la fiscalización presencial a diversas pisciculturas localizadas en la zona saturada, a lo largo de todo el año y la fiscalización de la implementación de los planes de adecuación desarrollados por los titulares para dar cumplimiento con la norma de emisión y parámetros de monitoreo.

**Artículo 8.-** Un informe anual con el resultado de las fiscalizaciones indicadas en el artículo anterior deberá ser remitido por la SMA a la Seremi del Medio Ambiente, dentro del tercer trimestre siguiente al año reportado. Dicho informe sólo incluirá aquella información que no tenga el carácter de reservada.

Estos resultados serán publicados en plataformas institucionales de la SMA, de manera de que pueda estar disponible a la comunidad.

## 2. Regulación referida a las PTAS

**Artículo 9.-** Para el caso de las PTAS que apliquen lodos al suelo, el SAG realizará la revisión de los planes de aplicación de lodos de PTAS contenidas en la plataforma Sinader, los cuales deberán ser oportunamente informados a la Dirección Regional del SAG, previo a su aplicación. Posterior a la aplicación de lodos, la fiscalización se realizará por única vez. Ello, a menos que la dosis de aplicación sea parcializada o por superficie del predio o ésta se aplique por etapas en los predios que apliquen lodos de PTAS en suelos de la cuenca del Lago Villarrica; casos en los que la fiscalización se realizará luego de cada aplicación.

Por otra parte, la Seremi de Salud fiscalizará, al menos dos veces al año, el tratamiento, almacenamiento y transporte de los lodos de PTAS generados en la zona saturada, llevando un registro de la cantidad de lodos producidos en cada PTAS de la cuenca. Asimismo, durante el mes de enero de cada año, remitirá un reporte a la Seremi del Medio Ambiente correspondiente a la fiscalización de lodos producidos del año anterior.

Una vez al año, durante el mes de enero, el SAG remitirá un reporte a la Seremi del Medio Ambiente correspondiente a la fiscalización del año anterior, sin perjuicio de las obligaciones del decreto supremo N° 4, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece el reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, o el que lo reemplace. Este informe deberá contener:

1. Registro de aplicación de lodos a suelo dentro de la zona saturada. Esto debe estar desagregado por:

- a. Predio beneficiario, con ubicación georreferenciada.
- b. Cantidad de lodo aplicada.
- c. Origen de los lodos aplicados.

2. Análisis crítico del cumplimiento por criterio del decreto supremo N° 4, de 2009, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, en cada predio.

**Artículo 10.-** Las PTAS de origen domiciliario, nuevas y existentes, cuando atiendan a una población igual o mayor a dos mil quinientos (2.500) habitantes, que traten las aguas servidas domiciliarias de los clientes ubicados dentro de la zona saturada, deberán cumplir con un límite de emisión máximo de fósforo total cuya concentración promedio diaria sea menor o igual a 2 mg/L.

Para las PTAS nuevas, ello será obligatorio a contar de la publicación del presente Plan. Para las PTAS existentes, tratándose de aquellas que no requieran resolución de calificación ambiental, ello será obligatorio en un plazo de cinco años, y tratándose de aquellas que la requieran, en un plazo de 8 años; ambos contados desde la publicación del presente Plan.

El monitoreo de fósforo total se debe efectuar en cada una de las descargas de las PTAS mediante muestras compuestas, obtenidas de la mezcla homogénea de muestras puntuales tomadas en un periodo de 24 horas con un intervalo máximo de 2 horas. La medición y análisis de las muestras deberá considerar los límites de detección mínimos establecidos en la resolución exenta N° 671, de 2016, de la Superintendencia del Medio Ambiente, que dicta el programa de medición y control de la calidad ambiental del agua para las normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales del Lago Villarrica, o la que la reemplace. El monitoreo deberá realizarse por ETFAs, con una frecuencia de 2 veces al mes y los reportes de monitoreo deberán remitirse mensualmente a la SISS.

Para los residuos líquidos vinculados a la ley N° 20.998 que sólo estén compuestos por aguas servidas domésticas, con un volumen de descarga inferior a 50.000 m3/mes, el número mínimo de días de toma de muestras será uno cada tres meses. Corresponderá a la SISS la fiscalización del cumplimiento de esta medida por parte de las empresas prestadoras de servicios sanitarios. Los resultados detallados de la fiscalización serán de libre acceso al público mediante el sitio electrónico de la SISS.

**Artículo 11.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales del Ministerio de Obras Públicas, en el marco de las competencias que le fija la ley N° 20.998, en coordinación con el Gobierno Regional, procurarán ofrecer alternativas de financiamiento a la Municipalidad de Curarrehue para el desarrollo de las etapas necesarias para la implementación del sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas en la comuna, tales como factibilidad técnica, socialización, diseño de ingeniería, asesoría técnica y ambiental, entre otras. Para lo anterior, se podrá recurrir a alternativas de financiamiento del FNDR o de otras instituciones como la Subdere, dentro del ámbito de su competencia.

La factibilidad y el diseño de ingeniería para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas servidas domiciliarias en la comuna de Curarrehue debe contemplar la prestación de servicios tanto para el área urbana como el área rural, considerando los resultados de la etapa de prefactibilidad desarrollada por el municipio, sin perjuicio de poder ajustarse si la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales determina una solución que permita cumplir con los objetivos del plan y sea más eficiente en términos de inversión y costo operativo.

Adicionalmente, el diseño deberá considerar que la descarga de la PTAS de la comuna de Curarrehue deberá cumplir la norma de emisión de fósforo total, de acuerdo a lo establecido en el artículo 10 del presente Plan. El diseño de la PTAS de la comuna de Curarrehue considerará la conexión a la red de aquellos beneficiarios de la alternativa de inversión que cuenten con la respectiva factibilidad técnica.

**Artículo 12.-** Una vez finalizados los estudios y el diseño de ingeniería para la construcción del sistema de recolección y tratamiento de aguas servidas, la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales del Ministerio de Obras Públicas en conformidad con las competencias que le fija la ley N° 20.998, en coordinación con el Gobierno Regional, remitirán, mediante oficio, una propuesta con alternativas de financiamiento a la Municipalidad de Curarrehue para la construcción de las obras requeridas, lo que debe incluir las necesidades de terrenos, servidumbres, suministro de energía, así como la capacitación del personal de operación y mantenimiento del operador y de la o las alternativas tecnológicas seleccionadas para cada área o configuración territorial. El financiamiento solicitado considerará que el sistema de tratamiento de aguas servidas deberá estar operativo en un plazo de 72 meses contados desde la publicación del presente Plan.

**Artículo 13.-** La operación del sistema de Recolección y Tratamiento de Aguas Servidas quedará en manos de el o los operadores del servicio sanitario (urbano/rural), de acuerdo con la normativa sectorial aplicable, en especial, lo señalado en la ley N° 20.998 y el decreto supremo N° 50, de 2020, del Ministerio de Obras Públicas, que establece el reglamento de la mencionada ley, que regula los servicios sanitarios rurales, o el que lo reemplace.

En el momento de dar inicio a la operación de los respectivos sistemas, tanto la Municipalidad de Curarrehue como la SSSR deberán enviar a la Seremi del Medio Ambiente, el Certificado de Recepción de Obras y una copia de la licencia del operador, respectivamente.

## CAPÍTULO IV. CONTROL DE EMISIONES ASOCIADAS A FUENTES DIFUSAS

## 1. Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento

**Artículo 14.-** Con el objeto de permitir una debida implementación de la medida indicada en el artículo 16 del presente Plan, la SISS enviará anualmente, en el mes de enero, a la Seremi del Medio Ambiente, un registro de las viviendas ubicadas dentro del área de concesión que se enfrentan a la red de alcantarillado, y que no se encuentren conectadas al sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales.

Dicho registro podrá ser complementado con información de las Municipalidades y de la Seremi de Salud.

**Artículo 15.-** La Seremi de Salud remitirá, cada dos años, un informe a la Seremi del Medio Ambiente informando el estado de las conexiones de los propietarios de las viviendas que enfrenten la red de alcantarillado y que no se encuentren conectadas al sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales dentro del área de concesión. Este informe será elaborado de conformidad con un programa de fiscalización definido por la autoridad sanitaria. Para la construcción de este programa de fiscalización la Seremi del Medio Ambiente remitirá el registro al que se refiere el artículo 14. El primer informe se remitirá dentro de los dos primeros años contados desde la publicación del presente Plan.

**Artículo 16.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, y durante toda la vigencia del mismo, la Subdere, en coordinación con el Gobierno Regional, o este último, podrán ofrecer financiamiento a las municipalidades de Villarrica y Pucón para implementar programas anuales de conexión de las viviendas que se encuentren dentro del área de concesión de servicios sanitarios, priorizando aquellas que no enfrenten red de alcantarillado, en la medida que ello sea compatible con las respectivas guías operativas.

Los programas anuales de conexión de viviendas deberán considerar, entre otros, el registro de la SISS indicado en el artículo 14 del presente Plan, así como el informe indicado en el artículo 15 precedente.

Estos programas anuales serán informados a la SISS y a la Seremi de Salud, con el objeto de ser considerados en el ejercicio de sus competencias fiscalizadoras y sancionatorias, conforme a lo establecido en el artículo 39 del decreto con fuerza de ley N° 382, de 1988, del Ministerio de Obras Públicas, y a los principios de gradualidad y proporcionalidad administrativa.

**Artículo 17.-** Las viviendas nuevas, así como los conjuntos habitacionales destinados a uso residencial y/o turístico que se instalen dentro de la zona de amortiguación (buffer), determinada de conformidad con el artículo 60 del presente Plan, tendrán prohibida la instalación de letrinas, pozos negros o fosas sépticas sin tratamiento posterior.

En un plazo de cuatro años contado desde la definición de la zona de amortiguación, las viviendas existentes así como los conjuntos habitacionales destinados a uso residencial y/o turístico dentro de dicha zona que cuenten con letrinas, pozos negros o fosas sépticas sin tratamiento posterior, deberán haber implementado mejoras tecnológicas, priorizando las soluciones basadas en la naturaleza, que permitan garantizar al menos un 50% de reducción de nutrientes, en particular el fósforo, de acuerdo a lo establecido en el programa señalado en el artículo 18, o haberse conectado a un sistema de recolección y tratamiento operado por una empresa de servicios sanitarios, u otro concesionario al efecto que cumpla con la normativa sanitaria y ambiental.

**Artículo 18.-** De acuerdo con las competencias que fija la ley N° 20.998, la SSSR impulsará de oficio, dentro del plazo de vigencia del Plan, un programa de saneamiento rural para viviendas que no cuenten con este servicio en la zona saturada. Para dicho fin, podrá obtener financiamiento sectorial del FNDR u otras instituciones.

En este contexto, la SSSR efectuará durante los primeros 3 años de vigencia de este Plan, un estudio básico que permita contar con información detallada de los sistemas de agua potable rural insertos en la cuenca del Lago Villarrica, sobre sus redes de abastecimiento y factibilidad de alternativas de tratamiento de aguas servidas, lo cual servirá de insumo para la definición del plan de trabajo para el saneamiento de estas viviendas.

El MMA durante el primer año de vigencia de este Plan, recopilará información de los servicios públicos con competencia, para elaborar un catastro georreferenciado de viviendas sin servicio sanitario rural, el cual será remitido a la SSSR para que defina el plan de trabajo para el saneamiento de estas viviendas.

El programa de saneamiento rural tendrá, entre otros objetivos, entregar soluciones de saneamiento a viviendas que se encuentren en el área de servicio de cada comité y/o cooperativa rural y que estén aportando carga de fósforo al Lago Villarrica a través de flujo superficial, subsuperficial o subterráneo.

El programa deberá incorporar a las familias definidas como vulnerables de acuerdo al Registro Social de Hogares. En el caso de segundas viviendas o aquellas que no sean de ocupación permanente



(veraneo) deberán ejecutar sus propios empalmes a la red de alcantarillado que se instale en un plazo no mayor a un año desde la puesta en servicio de la red de alcantarillado. Las soluciones ejecutadas deberán cumplir con las normas de emisión vigentes y demás normativa aplicable, según corresponda.

Para viviendas individuales o de baja concentración, se deberán priorizar las SBN, según los criterios de la SSSR. Entre las SBN podemos encontrar los baños secos, humedales artificiales (wetland), lombrifiltros, como también el reúso de aguas grises, entre otros.

El programa contemplará un universo inicial de soluciones sanitarias rurales a 1.350 viviendas ubicadas en el área rural de la zona saturada, en el plazo de vigencia del presente Plan. Las redes intradomiciliarias que sean necesarias serán de cargo de los propios usuarios o bien serán parte de Programas de Mejoramiento de Barrio.

Este programa deberá considerar la pertinencia cultural local, relevando el valor de la protección de la calidad de las aguas de esta cuenca en los medios de vida de las comunidades. En este contexto, aquellas comunidades indígenas interesadas en participar de esta iniciativa, en la instancia de postulación, podrán contar con una ponderación extra si se acredita el compromiso de mantener el sistema de saneamiento sanitario.

**Artículo 19.-** La SMA incluirá en sus programas de fiscalización las descargas de aguas servidas en zonas rurales de las fuentes emisoras en la cuenca del Lago Villarrica, sujetas al decreto supremo N° 46, de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, que establece norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, o la que la reemplace.

Por otra parte, la DGA, en el proceso de determinación de vulnerabilidad de los acuíferos, priorizará la determinación de la vulnerabilidad de los acuíferos de la zona saturada en la cuenca del Lago Villarrica, para efectos de la aplicación del decreto supremo N° 46, de 2002, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, o el que lo reemplace.

**Artículo 20.-** La Seremi de Bienes Nacionales de la Región de La Araucanía, en conjunto con la Seremi de Vivienda y Urbanismo, el Servicio de Vivienda y Urbanismo (Serviu) y las Direcciones de Obras de las comunas a las que resulta aplicable este Plan, identificará aquellos sectores que estén incumpliendo con las disposiciones del decreto con fuerza de ley N° 458, de 1975, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que aprueba la Ley General de Urbanismo y Construcciones, del decreto supremo N° 47, de 1992, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, que fija nuevo texto de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, y del decreto ley N° 3.516, de 1980, del Ministerio de Agricultura, que establece normas sobre división de predios rústicos, con énfasis en las ocupaciones y loteos irregulares; con la finalidad de que los servicios a quienes les compete, realicen las denuncias respectivas. Asimismo, desde dicha Seremi de Bienes Nacionales, así como de la Seremi del Medio Ambiente y de Agricultura, se efectuarán campañas de difusión a la ciudadanía respecto de los canales formales de denuncia de estos loteos.

La Seremi de Bienes Nacionales analizará especialmente aquellas solicitudes de saneamiento que provengan de la zona saturada, con la finalidad de dar continuidad al trámite, según provengan de proyectos de loteos debidamente autorizados por las Direcciones de Obras Municipales respectivas y aquellas regidas por la ley N° 19.807, que autoriza la subdivisión de un predio rústico a favor de las personas que indica.

La Seremi del Medio Ambiente, en enero de cada año calendario, desde la entrada en vigencia del presente Plan, solicitará a los municipios de Villarrica, Pucón, Curarrehue y Cunco, y para el área pertinente respecto a la cuenca objeto del presente Plan, un reporte de sus fiscalizaciones de construcciones irregulares en las comunas respectivas, sobre todo en sectores cercanos a cursos de agua o zonas de ribera en la cuenca, tales como, ríos, esteros, arroyos, lagunas, lagos y otros humedales, que pudieran impactar significativamente la calidad de las aguas.

**Artículo 21.-** La Seremi de Salud implementará un programa anual de fiscalización a empresas de limpieza de fosas sépticas y sus clientes en la zona saturada, que garantice la disposición de los residuos retirados en sitios autorizados.

Para este fin, las empresas de limpieza de fosas sépticas deberán contar con la siguiente información, que deberá ser verificable:

- Registro de lodos retirados por vivienda, especificando su fecha, ubicación, volumen, ruta realizada y sitio de disposición final.
- Los vehículos empleados para prestar el servicio deberán contar con un distintivo que permita verificar que se encuentran autorizados por la autoridad sanitaria competente.

Por otro lado, los usuarios del servicio de limpieza de fosas sépticas deberán exigir la entrega del comprobante de retiro (boleta o guía de despacho), el cual deberá estar disponible al momento de la fiscalización por parte de la Seremi de Salud.

**Artículo 22.-** La Secretaría Regional Ministerial de Economía de la Región de La Araucanía coordinará con Corfo y otros servicios dependientes y relacionados del Ministerio de Economía,

Fomento y Turismo para identificar líneas de financiamiento especiales de la Región de La Araucanía, que permitan facilitar el acceso a financiamiento, a través de instituciones financieras bancarias y no bancarias, para la inversión en mejoras tecnológicas aplicada para empresas de limpieza de fosas sépticas y de pisciculturas emplazadas en la zona saturada. Para ello procurará obtener financiamiento sectorial o del FNDR.

## 2. Cobertura de suelo silvoagropecuario

**Artículo 23.-** En un plazo de seis meses contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente, con la colaboración técnica de Conaf (o su sucesor legal) deberá realizar un catastro territorial que permita identificar las principales áreas de interés a restaurar, reforestar y/o rehabilitar dentro de la zona saturada, considerando en su definición tanto aspectos técnicos como jurídicos, y otros que se estimen pertinentes para dicha finalidad.

Para lo anterior, podrá considerar también las áreas que hayan sido declaradas como degradadas, conforme al artículo 32 de la ley N° 21.600, que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas, y crea el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. El financiamiento que implique la realización del catastro territorial referido precedentemente será gestionado por el Ministerio del Medio Ambiente. Este catastro deberá ser actualizado, a lo menos cada dos años y deberá contener, al menos, la siguiente información:

- i. Superficie disponible.
- ii. Propiedad de los terrenos.
- iii. Accesibilidad y procesos administrativos para su operatividad.
- iv. Instrumentos mediante los cuales se podría ejecutar la restauración, reforestación y/o rehabilitación en la o las áreas estudiadas.
- v. Disponibilidad del propietario para acceder al programa restauración, reforestación y/o rehabilitación.

Posterior a la realización del catastro territorial, y en un plazo no mayor a un año contado desde la entrada en vigencia del PDAV, Conaf o su sucesor legal, con apoyo de la Seremi del Medio Ambiente, diseñará y comenzará la ejecución de un programa de restauración, reforestación y/o rehabilitación con especies nativas para la cuenca del Lago Villarrica que tendrá una meta de 2.000 hectáreas dentro del periodo de implementación del Plan. Para ello, Conaf o su sucesor legal se comprometen a implementar programas de restauración, reforestación y/o rehabilitación en 1.000 hectáreas dentro de los 15 años de vigencia del Plan. Adicionalmente, el Ministerio del Medio Ambiente, con apoyo del Ministerio de Agricultura, procurará obtener financiamiento sectorial o del FNDR para las 1.000 hectáreas adicionales dentro de los 15 años de vigencia del Plan. Para ello, se contará con el apoyo técnico de Conaf o su sucesor legal.

En el marco de lo señalado anteriormente, se realizarán actividades de coordinación con los órganos de la Administración del Estado que se estime pertinentes, con el objeto de obtener financiamiento sectorial para dichos proyectos, o bien del FNDR, o de cualquier otro fondo disponible, incluyendo, alianzas público-privadas.

El objetivo de reforestación planteado en los dos incisos precedentes busca preservar y mejorar la función ecosistémica de la vegetación nativa de la cuenca para regular la escorrentía superficial o subsuperficial, retener o disminuir el arrastre de sedimentos y permitir la retención y asimilación de nutrientes mediante la restauración de la vegetación de riberas.

Cabe indicar, que todo programa de restauración, reforestación y/o rehabilitación, deberá considerar la pertinencia cultural local, relevando el valor de la protección de la calidad de las aguas de esta cuenca en los medios de vida de las comunidades. En este contexto, aquellas comunidades indígenas interesadas en participar de esta iniciativa, en la instancia de postulación, podrán contar con una ponderación extra si se acredita el compromiso de preservar las áreas intervenidas, así como también el resguardo de las obras y acciones ejecutadas en el marco del programa.

Adicionalmente, Indap incluirá la restauración, reforestación y/o rehabilitación de riberas con especies nativas dentro de sus instrumentos de fomento, tal como el Programa de Desarrollo de Inversiones (PDI) u otros, estableciendo la coordinación con Conaf o su sucesor legal, u otros órganos o servicios públicos competentes, que permita a los usuarios financiar las actividades definidas según los objetivos del PDAV.

Las áreas seleccionadas en el programa deberán ser consideradas en los respectivos planes de protección contra incendios forestales a nivel comunal elaborados por la Conaf, o su sucesor legal, y en los planes comunales para la reducción del riesgo de desastre, de acuerdo con las disposiciones de la ley N°21.364 que establece el sistema nacional de prevención y respuesta ante desastres, sustituye la oficina nacional de emergencia por el servicio nacional de prevención y respuesta ante desastres, y adecúa normas que indica, así como de otros instrumentos técnicos para la prevención y combate de incendios forestales.

Para dar cumplimiento a lo señalado en el presente artículo, el Ministerio del Medio Ambiente junto con el Ministerio de Agricultura realizarán un trabajo coordinado y colaborativo a nivel central



y regional. El avance de la medida dependerá del interés que demuestren las personas vinculadas a propiedades privadas, para lo que se deberá contar oportunamente, en tiempo y forma, con la información contenida en el mencionado catastro territorial elaborado por el MMA. Por lo anterior, es necesario priorizar las medidas en áreas silvestres protegidas, debido a su potencial de restauración.

El catastro territorial al que hace referencia el presente artículo será actualizado cada dos años, y con dicha información, se evaluará la implementación del programa y se revisará el programa de restauración, reforestación y/o rehabilitación con especies nativas para la cuenca del Lago Villarrica, que será ejecutado por Conaf o su sucesor legal.

Todos los programas de intervención en materias de restauración, reforestación y/o rehabilitación que realice Conaf o su sucesor legal en la zona saturada de forma paralela a este programa, sumarán a la meta de las 2.000 hectáreas.

**Artículo 24.-** La Conaf, o su sucesor legal, coordinará el trabajo de una Mesa de Fiscalización Forestal, que estará integrada por un representante permanente designado por cada una de las municipalidades de Pucón, Villarrica, Curarrehue y Cunco, Carabineros de Chile, la Seremi del Medio Ambiente y la Capitanía de Puerto del Lago Villarrica, pudiendo convocar a otras organizaciones públicas o privadas locales.

La referida mesa sesionará al menos dos veces al año y tendrá por objetivo, diseñar y ejecutar un programa de fiscalización forestal en la zona saturada, en el marco de los cuerpos legales vigentes, abordando las temáticas forestales, de usos de suelos, aguas y humedales de la ley N° 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal; el decreto ley N° 701, de 1974, del Ministerio de Agricultura, que fija régimen legal de los terrenos forestales o preferentemente aptos para la forestación, y establece normas de fomento sobre la materia; el decreto supremo N° 82, de 2010, del Ministerio de Agricultura, que aprueba reglamento de suelos, aguas y humedales, o el que lo reemplace; que pudiesen afectar el normal desarrollo del Plan. Del mismo modo, deberá fiscalizar el cumplimiento de las acciones y medidas de protección a la regeneración natural del bosque nativo, restauración, reforestación y/o rehabilitación en la zona comprendida por las comunas de Villarrica, Pucón, Curarrehue y Cunco, en el marco del programa establecido en el artículo precedente.

**Artículo 25.-** En el plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, el Indap y el SAG implementarán y mantendrán operativa una plataforma para disponer del registro actualizado de los predios del Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) o del programa que lo reemplace. Dicho registro deberá incluir los distintos aspectos referidos a las prácticas que contemplen aplicación de agroquímicos conforme a lo señalado en el referido programa.

**Artículo 26.-** En el plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, todo predio forestal, agrícola y/o ganadero con una superficie predial total igual o mayor a 200 hectáreas, que aplique fertilización de suelo dentro de la zona saturada, deberá inscribirse en el registro señalado en el artículo precedente. Asimismo, deberá reportar el tipo de fertilizante utilizado, método de aplicación, superficie de aplicación, fecha de aplicación y cantidades aplicadas.

Lo anterior, conforme a lo señalado por el Programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) o el programa que lo reemplace, y la normativa aplicable del SAG.

**Artículo 27.-** En un plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi de Agricultura, en conjunto con la Seremi del Medio Ambiente, dictarán un instructivo de buenas prácticas silvoagropecuarias que apunten a la conservación de la biodiversidad acuática, disminuyendo los impactos de la actividad sobre la calidad de los cursos de agua superficiales, subsuperficiales y subterráneos de la cuenca del Lago Villarrica.

Las buenas prácticas deben enfocarse en, al menos, los siguientes aspectos:

- Uso racional de fertilizantes químicos, que contemple criterios de utilización por tipo, cantidad, época y lugar de aplicación (ejemplo: aplicación de cal).
- Sustitución de insumos químicos por biológicos.
- Control y manejo de animales de granja, relativo a acceso a cuerpos de agua, manejo de excretas, entre otros.
- Control de la escorrentía superficial, considerando la importancia de la vegetación nativa, existencia de zonas de amortiguamiento ribereñas (ejemplo: curvas de nivel, cortinas cortaviento).

**Artículo 28.-** En un plazo de 6 meses contados desde la elaboración del instructivo de buenas prácticas silvoagropecuarias, la Seremi de Agricultura informará a la Seremi del Medio Ambiente el resultado de un programa de capacitación que implementará Indap a los extensionistas que se desempeñen en los programas en la cuenca del Lago Villarrica, con la finalidad que estos puedan, a su vez, capacitar a la totalidad de propietarios que se localicen en la zona saturada. Adicionalmente,



el Indap, a través de su plan de sustentabilidad y transición agroecológica, promoverá prácticas para producción sostenible desde los principios agroecológicos, por medio de la constitución de la red de Faros Escuelas Agroecológicas a nivel regional, con énfasis en la cuenca del Lago Villarrica. Asimismo, se masificará la producción sostenible en base al rediseño predial y la implementación de prácticas que promuevan procesos ecológicos a nivel predial y de paisaje, apoyados por los instrumentos de extensión, fomento y crédito del Indap.

**Artículo 29.-** El Instituto de Investigaciones Agropecuarias, en colaboración con la Seremi del Medio Ambiente, en un plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, desarrollará, durante la vigencia del mismo, jornadas de campo educativas en torno a acciones demostrativas para el manejo sostenible de nutrientes en predios agrícolas localizados en la zona saturada.

### 3. Coberturas de suelo urbanas

**Artículo 30.-** La Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas, en coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en un plazo no superior a cinco años desde la entrada en vigencia del Plan, deberá considerar en el Plan Maestro de Aguas Lluvias de las comunas de Pucón, Villarrica y Curarrehue la implementación de obras de infiltración y almacenamiento<sup>59</sup> que contribuyan a la disminución y control de la escorrentía superficial urbana, así como también al aporte de sedimentos y fósforo arrastrado a los cuerpos de agua de la zona saturada.

Adicionalmente, las empresas concesionarias de servicios sanitarios propondrán a la SISS soluciones que permitan minimizar las descargas no controladas de aguas servidas al lago en evento de lluvias. Estas soluciones deberán ser revisadas y aprobadas por la SISS e implementadas en un plazo de 4 años desde su aprobación.

**Artículo 31.-** En caso que los Planes Reguladores Comunes y el Plan Regulador Intercomunal sean modificados por las municipalidades de Villarrica, Pucón y Curarrehue, o por la Seremi de Vivienda y Urbanismo de la Región de La Araucanía o el Gobierno Regional, según corresponda, de conformidad con las atribuciones establecidas en los artículos 2.1.7, 2.1.10 y 2.1.10 bis de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, respectivamente, propenderán a considerar como áreas restringidas al desarrollo urbano, ya sea como áreas de riesgo o zonas no edificables, o áreas verdes, ya sean definidas como espacios públicos o como uso de suelo área verde, según corresponda, aquellas zonas que por sus características naturales retengan o filtren cargas de fósforo emitidas a los cuerpos de agua que forman parte de la zona saturada. Esto, para establecer las limitaciones y condiciones de los proyectos que podrán emplazarse en estas áreas, conforme a lo que defina el respectivo instrumento de planificación territorial. Por otra parte, se deberá considerar el desarrollo de un estudio de riesgo antrópico que comprenda la superficie del territorio circunscrito dentro de la zona declarada como saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, en la cuenca del Lago Villarrica.

## CAPÍTULO V. MEDIDAS DE GESTIÓN PARA DISMINUCIÓN INDIRECTA DE EMISIONES DE NUTRIENTES

**Artículo 32.-** La Capitanía de Puerto del Lago Villarrica implementará un programa anual de fiscalización, con el objetivo de catastrar aguas residuales que sean descargadas al lago mediante tuberías no autorizadas, tales como desagües de alcantarillados particulares y descargas de cualquier naturaleza que se realicen en incumplimiento a los artículos 2° y 136 del reglamento para el control de la contaminación acuática, contenido en el decreto supremo N° 1, de 1992, del Ministerio de Defensa Nacional, o el que lo reemplace, y en la demás normativa sectorial vigente.

**Artículo 33.-** Se prohíbe la evacuación directa de aguas de agotamiento de napas (aguas de trasvase) en la zona saturada sin contar con un plan de acción para la disposición final de estas aguas, aprobado por la Capitanía de Puerto del Lago Villarrica cuando esté bajo su jurisdicción, o bien, por el municipio respectivo, según corresponda. El plan de acción deberá contener, a lo menos, y al costo del usuario solicitante, un cronograma de actividades a realizar, programa de muestreo de la calidad del agua del lago y de las aguas de napas y medidas de mitigación de potenciales impactos.

**Artículo 34.-** La Seremi de Salud implementará un programa anual de fiscalización a sistemas de tratamiento de aguas servidas en aquellas viviendas localizadas en las áreas urbanas de la zona saturada, que evacúen aguas servidas a canales urbanos, esteros o ríos, sin contar con tratamiento previo.

<sup>59</sup> Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas. (2013). Manual de Drenaje Urbano.

**Artículo 35.-** Los centros termales ubicados en la zona saturada deberán realizar dos campañas anuales de monitoreo del agua que utilizan para su funcionamiento en el punto de captación y previo a su descarga a cuerpos de aguas superficiales o subterráneos.

Estos muestreos deben realizarse durante los períodos de mayor afluencia de público y deben contemplar como mínimo los siguientes parámetros: caudal, nitrógeno total, nitrógeno disuelto, fósforo total, fósforo disuelto, oxígeno disuelto y turbiedad. Los centros termales deben remitir un informe con estos análisis a la Seremi de Salud durante el mes de marzo de cada año, la que será responsable de la fiscalización de su cumplimiento.

**Artículo 36.-** El Sernatur deberá realizar, anualmente, al menos 2 charlas de promoción del “Sello de Sustentabilidad Turística” (Sello S) donde se inviten a participar a servicios de alojamientos turísticos, tour operadores y agencias de viaje que operen dentro de la zona saturada.

El objetivo de estos talleres será identificar a potenciales operadores que estén interesados en la obtención del “Sello de Sustentabilidad Turística” y que se encuentren operando dentro de la referida zona.

Una vez que los potenciales operadores interesados en obtener el “Sello de Sustentabilidad Turística” sean identificados, Sernatur deberá orientarlos y prestarles apoyo para la postulación y obtención de fondos de la institución para lograr la certificación de estas empresas.

**Artículo 37.-** El Sernatur, con el apoyo de la Seremi del Medio Ambiente y la Seremi de Salud, deberá realizar, al menos una vez al año, talleres y charlas de turismo consciente, donde se inviten a participar a turistas, servicios de alojamientos turísticos, tour operadores y agencias de viaje que operen dentro de la zona saturada.

El objetivo de estos talleres será concientizar acerca de la importancia de prestar servicios turísticos sustentables, facilitar información para la propuesta de mejores prácticas en la prestación de servicios turísticos, generar redes entre los operadores turísticos interesados en la protección y conservación del patrimonio natural del sector, la calidad de las aguas, la protección de los ecosistemas acuáticos, entre otros.

**Artículo 38.-** Desde la entrada en vigencia del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente promoverá la constitución de una mesa de coordinación con la SMA, la Capitanía de Puerto del Lago Villarrica, la Dirección General de Aguas y la Dirección de Obras Hidráulicas, ambos últimos de la Región de la Araucanía, así como con los municipios de Villarrica, Pucón, Curarrehue y Cunco, para promover la labor coordinada de fiscalización, cada uno en el marco de sus competencias, para proyectos de extracción de áridos, existentes o nuevos, no autorizados y aquellos que cuenten con autorización, ubicados en cauces y álveos de los ríos, esteros, humedales y lagos de cada comuna y que tengan el potencial de generar aporte de nutrientes como el fósforo y nitrógeno.

La Seremi del Medio Ambiente podrá solicitar a los municipios respectivos, informar si cuentan con programas de fiscalización y limpieza de basurales ilegales existentes en las áreas de ribera de los cauces tributarios del Lago Villarrica, de acuerdo a lo contemplado en la ley N° 21.123, que sanciona como falta la conducta de contaminar playas, riberas de ríos o de lagos, parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales o en otras áreas de conservación declaradas bajo protección oficial.

CAPÍTULO VI. COMPENSACIÓN DE EMISIONES DE PROYECTOS EN LA ZONA SATURADA  
EN EL MARCO DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

**Artículo 39.-** Los proyectos o actividades, incluidas sus modificaciones, que se sometan o deban someterse al SEIA, deberán compensar en un 120% sus emisiones totales anuales, directas o indirectas, que impliquen un aumento sobre la situación base de la zona saturada, en valores iguales o superiores a 58 kg de fósforo total al año en cualquiera de sus fases, sea construcción, operación y/o cierre.

Asimismo, las modificaciones de proyectos o actividades que se sometan al SEIA deberán sumar las emisiones que forman parte del proyecto existente para efectos de determinar la obligación de compensación dispuesta en este artículo.

Se entiende por situación base todas aquellas emisiones existentes en la zona saturada, descrita en el inventario de emisiones presentado en la Tabla 12 del presente Plan. No se podrán imputar a dicha situación base aquellas emisiones generadas con infracción a este Plan como a la normativa ambiental vigente.

Se entenderá por emisiones directas a aquellas descargas de residuos líquidos que se generen exclusivamente por el desarrollo del proyecto o actividad, en su fase de construcción, operación y/o cierre.

Se entenderá por emisiones indirectas a aquellas descargas de residuos líquidos que se generen por cambios de uso de suelo asociados al proyecto o la actividad, como por ejemplo, la urbanización de sectores rurales que contempla la tala de árboles o la impermeabilización de suelo para la construcción inmobiliaria.

**Artículo 40.-** Para efectos de lo dispuesto en el artículo anterior, los proyectos o actividades nuevas y la modificación de aquellos existentes, deberán presentar al ingreso al SEIA la estimación de sus emisiones de fósforo total, para todas sus fases, señalando año y etapa en que se prevé se emitirá un valor superior al señalado en el artículo 39 del presente Plan, la metodología y supuestos utilizados para estimar las compensaciones y una memoria de cálculo.

**Artículo 41.-** Para acreditar el cumplimiento de lo establecido en el artículo 39 del presente Plan, el titular deberá presentar un Programa de Compensación de Emisiones, en el plazo de 60 días hábiles contado desde la dictación de la Resolución de Calificación Ambiental correspondiente.

El Programa de Compensación de Emisiones, deberá contener lo siguiente:

- a) Las medidas de compensación, que deberán cumplir los siguientes criterios:
  - i. Medibles, esto es, que permitan cuantificar la reducción de las emisiones que se produzca a consecuencia de ellas.
  - ii. Verificables, esto es, que generen una reducción de emisiones que se pueda acreditar con posterioridad a su implementación.
  - iii. Adicionales, entendiendo por tal que las medidas propuestas no respondan a otras obligaciones a que esté sujeto el titular, o bien, que no correspondan a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o particulares.
  - iv. Permanentes, entendiendo por tal que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto está obligado a reducir emisiones.
- b) Forma, oportunidad y ubicación en coordenadas WGS84 de las medidas a implementar, incluyendo una metodología para verificar el cumplimiento de las mismas.
- c) Carta Gantt, que considere todas las etapas para la implementación de la compensación de emisiones y la periodicidad con que informará a la SMA sobre el estado de avance de las actividades comprometidas.

La Seremi del Medio Ambiente dispondrá de un plazo máximo de 2 meses para revisar el programa de compensación de emisiones, el que será aprobado o rechazado mediante resolución. Si hubiese observaciones por parte de la Seremi del Medio Ambiente, éstas deberán ser subsanadas en el plazo de 20 días hábiles contados desde su notificación. En caso de no ser subsanadas las observaciones dentro de dicho plazo, se tendrá por no presentado el programa aludido. La resolución que aprueba dicho programa deberá ser remitida a la SMA para su fiscalización y publicada en el sitio electrónico de la Seremi del Medio Ambiente.

La Seremi del Medio Ambiente mantendrá un catastro de los programas de compensación de emisiones que haya aprobado, así como de todas sus medidas asociadas.

**Artículo 42.-** En ningún caso se podrán hacer valer como forma de compensación aquellas emisiones que hayan sido cedidas por actividades o establecimientos que cierren o deban cerrar por incumplimiento de normativa ambiental o por término de su vida útil con anterioridad a la aprobación de la solicitud de compensación.

Las condiciones mencionadas en relación con la compensación de emisiones no sustituirán las exigencias impuestas en otras normativas vigentes en las comunas de la zona saturada.

**Artículo 43.-** Dentro del plazo de 6 meses contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente, en conjunto con los servicios competentes, elaborarán una guía sobre alternativas de compensación de emisiones, que considere, a lo menos, la forestación y reforestación con especies nativas, restauración de zonas ribereñas, sanitarias rurales, entre otras. Esta guía deberá contener, además, métodos para el cálculo o estimación de emisiones puntuales y difusas, de las principales fuentes identificadas en la cuenca.

**Artículo 44.-** Será responsabilidad de la SMA fiscalizar el cumplimiento de las medidas de compensación asociadas a proyectos que se sometan al SEIA.

## CAPÍTULO VII. PLAN OPERACIONAL PARA LA GESTIÓN DE FLORECIMIENTO DE ALGAS

**Artículo 45.-** Dentro del plazo de 6 meses contados desde la publicación del presente Plan, el MMA implementará un sistema de alerta temprana para predecir el aumento de probabilidad de ocurrencia y la magnitud de los eventos de florecimiento de algas en el Lago Villarrica, en base a variables ambientales medibles, entre las que se considerarán las campañas de monitoreo de la NSCA y los datos entregados por la DGA.

Las predicciones de este sistema serán reportadas en una plataforma de libre acceso, de tal manera que se encuentren a disposición de la ciudadanía en periodo estival, desde la apertura de playas.



**Artículo 46.-** A partir de la entrada en vigencia del Plan, la Seremi del Medio Ambiente, en conjunto con la Seremi de Salud, la Capitanía de Puerto del Lago Villarrica, la DGA y la Delegación Presidencial Regional, o quien la reemplace, coordinará una mesa de trabajo interinstitucional frente a eventos de florecimiento algal, cuyo objetivo será abordar su afectación a la transparencia del Lago Villarrica y entregar información a la ciudadanía sobre dichos eventos con el objeto de avisar debidamente a la población.

La mesa de trabajo interinstitucional tendrá por objeto coordinar el desarrollo de un Plan Operacional, que será publicado en un plazo de un año contado desde la entrada en vigencia del presente Plan. Este plan se implementará por parte de los servicios que componen la mesa, y en especial a partir del periodo de apertura de playas al público, particularmente, en aquellas playas habilitadas para el baño en el Lago Villarrica. En acuerdo con la mesa de trabajo, se podrá además convocar a participar a representantes de las comunidades indígenas de la cuenca, así como a representantes de la sociedad civil.

El Plan Operacional deberá considerar, a lo menos, lo siguiente:

- i. Mediante una coordinación de los órganos y servicios públicos que participan de la mesa interinstitucional, se deberá proceder a la identificación de la/s microalga/s predominante/s, en el fenómeno de florecimiento algal, así como efectuar un análisis respecto a sus características y efectos.
- ii. En caso de que, durante el ejercicio de las acciones de vigilancia, realizadas en el marco de sus competencias sectoriales, la Seremi de Salud determine que es necesario alertar a la comunidad sobre eventuales riesgos derivados de un evento de florecimiento algal, informará oportunamente a la mesa de trabajo interinstitucional, para ejecutar coordinadamente las acciones indicadas en el numeral iv.
- iii. Un plan comunicacional de difusión dirigido a la actividad recreacional y comercial en las aguas del Lago Villarrica y a los bañistas, por medio de redes sociales, páginas institucionales, entre otros.
- iv. Medidas de prevención y mitigación durante el periodo de eventos de florecimientos de algas, tales como clasificar la aptitud de la playa para el baño incluyendo información con la que cuente la mesa interinstitucional. Estas medidas incluirán informar a los bañistas sobre las recomendaciones en relación a dichos eventos, conforme a los principios preventivos y precautorios.

**Artículo 47.-** La DGA mantendrá de manera permanente un sistema de monitoreo continuo de calidad del agua a partir de la operación de boyas telemétricas en un área representativa del espejo de agua del Lago Villarrica. El sistema de monitoreo considerará variables como la transparencia, conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, clorofila “a”, materia orgánica disuelta, ficocianina y turbiedad.

**Artículo 48.-** Durante el periodo de eventos de florecimientos algales, y según lo establecido en el Plan Operacional para la gestión de dichos eventos dispuesto en el artículo 46, la mesa de trabajo interinstitucional entregará recomendaciones orientadas a restaurar los niveles normativos de transparencia del Lago.

La información indicada en el inciso anterior será remitida a la Capitanía de Puerto del Lago Villarrica, a fin, en especial, de que esta institución apoye en la difusión de las recomendaciones que pueda haber efectuado la Seremi de Salud hacia la ciudadanía. Asimismo, la Capitanía de Puerto instruirá la instalación de señalética apropiada de advertencia a la población a fin de que se tomen los resguardos correspondientes.

CAPÍTULO VIII. PROGRAMA DE INVOLUCRAMIENTO CIUDADANO

**Artículo 49.-** Dentro del plazo de seis meses contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi de Educación de la Región de La Araucanía elaborará una estrategia de educación ambiental sobre los contenidos del Plan que considerará las siguientes acciones:

- a. Propender alianzas con organismos competentes, destacando a los establecimientos educacionales, universidades, centros de formación técnica e institutos, ubicados dentro de la zona saturada, que releven la temática de conservación de ecosistemas acuáticos y calidad de agua, dando cuenta del estado de avance de las medidas del Plan.
- b. Reforzamiento a los establecimientos educacionales ubicados dentro de la zona saturada respecto de la implementación de contenidos en el aula sobre el reconocimiento del problema de contaminación del agua, tratamiento y buenas prácticas para la solución del problema, con asidero en las bases curriculares vigentes. Para ello, la Seremi de Educación deberá enviar en septiembre de cada año un oficio a los sostenedores y directores de establecimientos educacionales de la cuenca, con el fin de establecer los lineamientos y medios de verificación para su cumplimiento, debiendo dichos establecimientos propender a su cumplimiento. La

Seremi de Educación podrá solicitar informe sobre las acciones realizadas, al menos una vez al año.

- c. En coordinación con la Seremi del Medio Ambiente, y con el Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas, en su caso, diseñará y desarrollará un programa de capacitación a profesores, directivos y centros de estudiantes en materias de calidad del agua, emisiones de nutrientes y conservación de ecosistemas acuáticos.

**Artículo 50.-** La Seremi del Medio Ambiente desarrollará anualmente un Programa de Difusión y Educación, el que deberá considerar al menos, lo siguiente:

- a. Mecanismos de difusión e información a la comunidad respecto del Plan, de manera de promover el cumplimiento de sus medidas y educación a la comunidad respecto a prácticas y acciones que apunten a la descontaminación de la cuenca, junto al diseño de un programa de vigilancia lacustre participativo que incorpore a la ciudadanía y comunidades indígenas de la cuenca. Así mismo se orientará a la comunidad respecto del procedimiento de denuncias ciudadanas acerca de incumplimiento de las medidas del Plan, compromisos suscritos mediante Resoluciones de Calificación Ambiental (“RCA”), daño ambiental u otro aplicable en la zona saturada. Se informará además anualmente respecto del estado de fiscalizaciones por parte de la SMA en instancias de participación comunitaria a través de municipios, juntas vecinales, u otras instancias.
- b. Diseño y mantención de un sistema para entregar información a la ciudadanía de manera expedita, ya sea de forma física en lugares y edificios públicos, como en medios digitales, relativa a datos de calidad del agua, estudios, avances y cumplimiento de las medidas del Plan. Así también se propiciarán instancias de acercamiento con organizaciones funcionales (juntas de vecinos, organizaciones sociales y ambientales, entre otros) y comunidades indígenas de la cuenca.
- c. Realización anual de una cuenta pública relativa a los avances y logros del Plan, la cual debe ser difundida por los medios que disponga la Seremi del Medio Ambiente.
- d. Incorporación de la temática de calidad del agua y conservación de ecosistemas acuáticos en los Programas de Trabajo de los establecimientos educacionales ubicados dentro de la zona saturada, que se encuentren voluntariamente adscritos al Sistema Nacional de Escuelas Sustentables.
- e. Promoción del desarrollo de iniciativas, en el marco del Fondo de Protección Ambiental, destinadas al desarrollo acciones que propicien la reducción de las emisiones de nutrientes como fósforo y nitrógeno causantes de la degradación de la calidad de las aguas del Lago Villarrica.

**Artículo 51.-** La Seremi del Medio Ambiente, dentro del plazo de seis meses contado desde la publicación del presente Plan, se coordinará con los Municipios de Pucón, Curarrehue, Villarrica y Cunco, para elaborar un plan de acción con actividades y plazos específicos por comuna para abordar la difusión y educación ambiental en materia de calidad del agua y conservación de ecosistemas acuáticos. La Seremi del Medio Ambiente velará por que dicho plan sea actualizado y ejecutado cada año, así como para que el mes de marzo de cada año, las municipalidades mencionadas envíen su programación para publicarla en el sitio electrónico del MMA.

CAPÍTULO IX. PROGRAMA INTERCULTURAL CON COMUNIDADES INDÍGENAS

**Artículo 52.-** Durante la vigencia del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente conformará una mesa de trabajo intercultural, la cual sesionará al menos una vez por año en las comunas de Villarrica, Pucón o Curarrehue, para lo cual serán convocados representantes de comunidades indígenas de las referidas comunas, y las autoridades tradicionales que estas mismas comunidades designen. En esta mesa se abordarán las siguientes temáticas:

- Desarrollar instancias de participación con el propósito de entregar información a las comunidades sobre el cumplimiento de las medidas del Plan, así como educar respecto a prácticas y acciones que apunten a la descontaminación de la cuenca. Asimismo, se entregarán antecedentes sobre el procedimiento de denuncias ciudadanas por incumplimiento de las medidas del Plan, compromisos suscritos mediante RCA, daño ambiental u otro aplicable en la zona saturada. Así también se informará respecto de resultados de fiscalizaciones que se realicen en la cuenca.
- Diseñar y ejecutar un programa de vigilancia lacustre basado en la cosmovisión Mapuche, el cual tendrá como propósito capacitar en materia de protocolos, procedimientos, métodos de medición y análisis de laboratorio implementados en las campañas de monitoreo para determinar cumplimiento de las NSCA del Lago Villarrica y generar instancias de participación en actividades de monitoreo. Este programa permitirá intercambiar información sobre

- conservación y/o preservación de los ecosistemas hídricos y sus servicios ecosistémicos para la mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago Villarrica.
- Diseñar y mantener un sistema para entregar de manera expedita información a las comunidades y ciudadanía en general, ya sea de forma física en lugares y edificios públicos, como en medios digitales, relativa a datos de calidad del agua, estudios, avances y cumplimiento de las medidas del Plan.
  - Socializar el contenido del informe de calidad del cumplimiento de las NSCA del Lago Villarrica elaborado por el MMA.
  - Permitir a los participantes de la mesa la presentación de consultas, observaciones y/o propuestas a ser consideradas en el periodo de actualización de Plan.

CAPÍTULO X. PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS

**Artículo 53.-** Dentro del plazo de dos años contados desde la publicación del presente Plan, la Seremi de Bienes Nacionales de La Araucanía procurará la realización de un estudio para la fijación de la línea de aguas máximas del Lago Villarrica, de conformidad con decreto supremo N° 609, de 1979, del Ministerio de Tierras y Colonización, que fija normas para establecer deslindes propietarios riberaños con el bien nacional de uso público por las riberas de los ríos, lagos y esteros, o el que lo reemplace. Para lo anterior, se procurará la obtención de los recursos necesarios.

**Artículo 54.-** La Seremi del Medio Ambiente actualizará el inventario de emisiones de los principales contaminantes de la zona saturada cada tres años.

**Artículo 55.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente, en colaboración con el Sernapesca y la Subpesca diseñarán un programa de seguimiento de fauna íctica nativa, que apunte a la conservación del ecosistema acuático.

**Artículo 56.-** Dentro del plazo de seis meses contado desde la publicación del presente Plan, el MMA realizará un estudio para el diseño de una red de monitoreo de emisiones difusas. Este estudio determinará como mínimo, el procedimiento idóneo para realizar el muestreo, los métodos de análisis a utilizar y la distribución espacial adecuada de las estaciones que conformen dicha red.

**Artículo 57.-** Dentro del plazo de un año contado desde la entrada en vigencia del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente en coordinación con la DGA y la Seremi de Agricultura, diseñarán una red de monitoreo de calidad del agua de la cuenca hidrográfica del Lago Villarrica. Los puntos a monitorear deben ser seleccionados de modo que permitan construir un balance de masa íntegro de los principales afluentes del lago; inferir el aporte específico en concentraciones ambientales de las fuentes puntuales y áreas de contaminación difusa y determinar la calidad natural de los cauces aportantes al Lago Villarrica.

La DGA deberá monitorear la calidad y flujo de las aguas en aquellos puntos que se definan, de acuerdo a lo anterior, considerando al menos los siguientes parámetros: Caudal, Fósforo Total (PT), Fósforo disuelto (P-PO<sub>4</sub>), Nitrato (N-NO<sub>3</sub>), Nitrito (N-NO<sub>2</sub>), Nitrógeno Total (NT), Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Conductividad (uS/cm), pH, Temperatura (°C), y Oxígeno Disuelto (ppm).

Este monitoreo será trimestral y se deberá remitir un reporte anual a la Seremi del Medio Ambiente, en el mes de abril del año siguiente de efectuado dicho monitoreo. Para llevar a cabo este monitoreo, la DGA procurará obtener financiamiento sectorial o del FNDR.

**Artículo 58.-** Dentro del plazo de dos años contado desde la publicación del presente Plan, el MMA, en conjunto con la DGA, deberán iniciar un estudio que permita entender el comportamiento del acuífero y su conexión con el Lago Villarrica. Los resultados deberán estar disponibles en un plazo de 4 años contado desde la entrada en vigencia del presente Plan, para ser utilizados como insumos técnicos-científicos en la revisión del Plan.

El estudio señalado en el inciso anterior deberá considerar a lo menos, lo siguiente:

- a. Definir la geometría y los límites espaciales del acuífero de la cuenca del Toltén que pueda influenciar el nivel y la calidad de agua del Lago Villarrica.
- b. Desarrollar un modelo de aguas subterráneas que permita identificar la influencia del acuífero en el nivel y la calidad de agua del Lago Villarrica. El modelo debe incluir las principales fuentes puntuales y difusas.
- c. Comprender las propiedades hidrogeológicas de la cuenca espacialmente distribuidas y definir las vulnerabilidades del acuífero.

Los recursos para la elaboración del estudio serán gestionados por el Ministerio del Medio Ambiente, el que podrá ser apoyado por la DGA para tales efectos.



**Artículo 59.-** Dentro del plazo de dos años contado desde la publicación del presente Plan, el MMA deberá iniciar un estudio para actualizar el modelo hidrodinámico y de calidad del agua del Lago Villarrica, donde además se deberá considerar el muestreo de sedimentos de fondo de la zona pelagial y litoral de las estaciones de vigilancia en el lago, con el fin de mejorar la estimación de carga interna del lago. Los resultados deberán estar disponibles en un plazo de 4 años desde la entrada en vigencia del presente Plan, para ser utilizados como insumos técnicos-científicos en la revisión del Plan.

Este modelo debe ser capaz de determinar las concentraciones ambientales de los distintos parámetros de interés en el espacio y en el tiempo para cada escenario del inventario de emisiones estimado. Para sustentar el desarrollo y aplicación de los modelos, se procurará fomentar la generación de capacidades internas especializadas dentro del MMA.

**Artículo 60.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente, en colaboración con la Seremi de Salud, definirán la zona de amortiguación (buffer) dentro de la zona saturada. El polígono será aprobado mediante resolución de la Seremi del Medio Ambiente y tendrá como objetivo restringir la instalación de determinados sistemas particulares de tratamiento de aguas servidas en zonas rurales y urbanas que no cuenten con conexión a algún sistema de recolección y tratamiento, para evitar el aporte de fósforo mediante flujos subterráneos o subsuperficiales provenientes de actividades antrópicas.

Para la determinación de la zona de amortiguación se deberán considerar, a lo menos, las siguientes variables: pendiente, vulnerabilidad del acuífero, cercanía a los cursos de agua permanentes y temporales, tipo de suelo y vegetación del lugar. La zona de amortiguación podrá ser actualizada por la Seremi del Medio Ambiente en caso de contar con nuevos antecedentes que permitan su delimitación.

**Artículo 61.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente realizará un estudio sobre los impactos que podrían generar las embarcaciones a motor en el lago, con especial énfasis en la remoción de nutrientes desde el fondo de la columna de agua y aporte de contaminantes. Los resultados de este estudio podrán ser utilizados como insumos técnicos-científicos en la instancia de revisión del PDAV.

**Artículo 62.-** Dentro del plazo de un año contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente desarrollará un estudio tendiente a la delimitación de humedales urbanos de mayor relevancia en la cuenca del Lago Villarrica, con el objeto de obtener información respecto a dichos humedales, y, de proceder, solicitar al Ministerio del Medio Ambiente el inicio de oficio de un procedimiento de declaración como humedal urbano, conforme a la ley N° 21.202. Asimismo, desarrollará un plan piloto de gestión para un humedal urbano de la cuenca del Lago Villarrica.

**Artículo 63.-** Los organismos y servicios públicos con obligaciones emanadas del presente Plan deberán, anualmente, determinar los requerimientos técnicos y costos asociados al cumplimiento de las medidas y actividades establecidas en el mismo, a fin de solicitar el financiamiento que asegure dicho cumplimiento.

CAPÍTULO XI. FISCALIZACIÓN, VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN

I. Fiscalización y verificación del cumplimiento del Plan de Descontaminación

**Artículo 64.-** La fiscalización de las medidas que establece el presente Plan será efectuada por la SMA, sin perjuicio de su atribución de encomendar anualmente a otros servicios, la fiscalización de las medidas de su competencia a través de un subprograma de fiscalización ambiental. Todo lo anterior indistintamente de las atribuciones de los organismos sectoriales que participan en la implementación del presente Plan.

**Artículo 65.-** La SMA, dentro del plazo de 6 meses contado desde la entrada en vigencia del presente Plan, deberá definir indicadores y medios de verificación que permitan a los organismos responsables de las medidas llevar un registro de las actividades, para posteriormente realizar el reporte a la Superintendencia del estado de avance de estas.

**Artículo 66.-** La SMA estará encargada de la verificación del estado de avance de las medidas del Plan. En virtud de lo anterior, los servicios públicos con obligaciones emanadas del presente Plan deberán informar en la forma y plazos que dicha Superintendencia establezca para este propósito.

La SMA remitirá anualmente un informe de avance de las medidas del plan a la Seremi del Medio Ambiente y al MMA, dando cuenta de su implementación y actividades asociadas.

**Artículo 67.-** Durante el tercer trimestre de cada año, la SMA deberá publicar la siguiente información en su sitio electrónico:

- a. Informe de cumplimiento e implementación de las medidas establecidas en el presente Plan.
- b. Informe de cumplimiento de la norma de emisión por carga de las pisciculturas.
- c. Reporte de las actividades de fiscalización realizadas a las fuentes emisoras en la zona saturada.

**Artículo 68.-** Todas las instituciones que tengan asociadas medidas en el presente Plan, deberán presentar a la Seremi del Medio Ambiente un programa de trabajo para dar cumplimiento a los compromisos del Plan, que se entregará en marzo de cada año. Dichas instituciones deberán remitir un reporte de lo ejecutado durante todo el año calendario, que se deberá enviar dentro de la segunda quincena diciembre del año respectivo. Ambos documentos serán difundidos en el sitio electrónico del MMA.

II. Actualización del Plan de Descontaminación

**Artículo 69.-** Dentro del plazo de cuatro años contado desde la publicación del presente Plan, la Seremi del Medio Ambiente encargará una auditoría al Plan con el objeto de evaluar la efectividad de las medidas contenidas respecto del mejoramiento de la calidad del agua del Lago Villarrica.

**Artículo 70.-** El Plan se revisará y actualizará en un plazo máximo de 5 años contado desde la publicación del mismo en el Diario Oficial, conforme al artículo 44 de la ley N° 19.300.

CAPÍTULO XII. VIGENCIA

**Artículo 71.-** El presente Plan entrará en vigencia el día de su publicación en el Diario Oficial, con excepción de aquellas disposiciones que tengan una vigencia diferida.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA

**Artículo transitorio.-** Los proyectos o actividades y/o sus modificaciones desarrolladas en la zona saturada que se sometan al SEIA antes de la entrada en vigencia del presente Plan, se seguirán evaluando conforme a la normativa vigente a la fecha de su ingreso al SEIA, en lo relativo a la compensación de emisiones.

Anótese, tómese razón y publíquese.- GABRIEL BORIC FONT, Presidente de la República.- María Heloísa Rojas Corradí, Ministra del Medio Ambiente.- Álvaro Elizalde Soto, Ministro del Interior.- Adriana Delpiano Puelma, Ministra de Defensa Nacional.- Nicolás Grau Veloso, Ministro de Economía, Fomento y Turismo.- Nicolás Cataldo Astorga, Ministro de Educación.- Jessica López Saffie, Ministra de Obras Públicas.- Ximena Aguilera Sanhueza, Ministra de Salud.- Carlos Montes Cisternas, Ministro de Vivienda y Urbanismo.- Esteban Valenzuela van Treek, Ministro de Agricultura.- Francisco Figueroa Cerda, Ministro de Bienes Nacionales.

Lo que transcribo para Ud. para los fines que estime pertinentes.- José Vial Barros, Subsecretario del Medio Ambiente.