

---

## **DETERMINACIÓN DE POTENCIALES EFECTOS DE LAS DESCARGAS DE LOS ALIVIADEROS DE TORMENTA DE ESSAL SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO LLANQUIHUE**

---

Realizado Por:



Santiago, febrero 2018



**DETERMINACIÓN DE POTENCIALES EFECTOS DE LAS DESCARGAS DE LOS  
ALIVIADEROS DE TORMENTA DE ESSAL SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA DEL LAGO  
LLANQUIHUE**

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	OBJETIVO .....	3
3	METODOLOGÍA.....	3
3.1	Marco teórico .....	3
3.2	Análisis realizados.....	6
3.2.1	<i>Análisis del cuerpo receptor.</i> .....	8
3.2.2	<i>Análisis de las posibles fuentes.</i> .....	12
4	EVALUACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES POR DESCARGA DE AGUAS MIXTAS ....	12
4.1	Análisis del cuerpo receptor.....	12
4.1.1	<i>Evolución histórica de la calidad del agua y de los sedimentos en el lago Llanquihue .....</i>	12
4.1.2	<i>Distribución espacial de la calidad del agua y sedimentos: comparación dentro y fuera del área de influencia de las descargas.....</i>	24
4.1.3	<i>Calidad del agua en la bahía de Puerto Varas: comparación con normas y clasificación del nivel trófico.....</i>	36
4.2	Análisis de las posibles fuentes.....	38
4.2.1	<i>Descargas de aguas mixtas desde los aliviaderos de tormenta de ESSAL</i>	
4.2.2	<i>Otras descargas.....</i>	40
5	CONCLUSIONES.....	48
6	REFERENCIAS .....	49
7	ANEXOS .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Recolección de Aguas Servidas de Puerto Varas.....	2
Figura 2. Ubicación de la PEAS Puerto Chico, PEAS Santa Rosa y de las estaciones de monitoreo históricas de calidad del agua y sedimentos en la bahía de Puerto Varas.....	11
Figura 3. Evolución temporal de la calidad del agua en la estación de monitoreo de la NSCA en el área de vigilancia de Puerto Varas .....	15
Figura 4. Evolución temporal de la concentración de fósforo total en la estación de monitoreo de la DGA. ....	19
Figura 5. Evolución temporal de la concentración de fósforo total y nitrógeno total Kjeldahl (NTK) en el punto de monitoreo DIRECTEMAR. Último valor corresponde a octubre de 2017 .....	22
Figura 6. Evolución temporal de la calidad de los sedimentos en la estación de monitoreo de la DIRECTEMAR.....	23
Figura 7. Distribución espacial de la concentración de nitrógeno en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas activas. Vista en planta.....	26
Figura 8. Distribución espacial de la concentración de nitrógeno en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas inactivas. Vista en planta.....	26
Figura 9. Límite aproximado del área de influencia de las descargas de ESSAL....	27
Figura 10. Distribución espacial de la concentración de fósforo en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas activas. 29	29
Figura 11. Distribución espacial de la concentración de fósforo en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas inactivas. Vista en planta.....	30
Figura 12. Resultados del estudio de corrientes lagrangianas en la bahía de Puerto Varas (octubre de 2017). ....	31
Figura 13. Distribución espacial del pH, concentración de oxígeno disuelto, clorofila y coliformes fecales en la bahía de Puerto Varas. Vista en planta. ....	33
Figura 14. Distribución espacial de la concentración de fósforo, nitrógeno, materia orgánica y carbono orgánico total en los sedimentos de la bahía de Puerto Varas (octubre de 2017).....	35
Figura 15. Comparación de la composición de los sedimentos muestreados en octubre de 2017 con los registros históricos de la DIRECTEMAR.....	35

Figura 16. Descargas con presencia de algas identificadas por ESSAL (2010).....	41
Figura 17. Ubicación de las descargas identificadas por POCH (2017) y analizadas por SGS (2017) en el litoral de Puerto Varas. ....	42
Figura 18. Registros fotográficos de tres descargas identificadas por POCH (marzo de 2017) en el litoral de Puerto Varas. ....	43
Figura 19. Carga de fósforo anual según actividad.....	45
Figura 20. Ubicación de concesiones acuícolas en el lago Llanquihue.....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición típica de aguas residuales domiciliarias.....	4
Tabla 2. Clasificación de la condición trófica de lagos. ....	5
Tabla 3. Fuentes de información utilizadas.....	6
Tabla 4. Parámetros de calidad del agua y límites establecidos en la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el lago Llanquihue en sus cuatro áreas de vigilancia. ....	9
Tabla 5. Coordenadas de las estaciones de monitoreo históricas en la bahía de Puerto Varas.....	11
Tabla 6. Volumen aproximado de agua contenido en el área de vigilancia de Puerto Varas por rango de profundidad definido para el monitoreo de verano e invierno (estaciones con y sin estratificación, respectivamente). ....	13
Tabla 7. Comparación de los estadígrafos de calidad del agua en la estación de monitoreo de la DGA (2000 – 2014) con los resultados de la campaña de octubre de 2017 (SGS), a tres profundidades (0 m, 15 m y 30 m). ....	17
Tabla 8. Estadígrafos de la calidad del agua en la estación de monitoreo de la DIRECTEMAR (periodo 2000 – 2011, a 0 m de profundidad). ....	21
Tabla 9. Calidad media del agua en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017. ....	27
Tabla 10. Calidad media del agua en el área de influencia de las descargas, en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017.....	37
Tabla 11. Calidad del agua de las descargas desde los aliviaderos de tormenta de las PEAS. ....	39
Tabla 12. Cálculo de la carga anual máxima de nutrientes aportada por los aliviaderos de tormenta de ESSAL al lago Llanquihue.....	40

Tabla 13. Calidad del agua de las descargas irregulares identificadas en la zona litoral de Puerto Varas y de las descargas de los aliviaderos de ESSAL ..... 43

Tabla 14. Carga de fósforo, nitrógeno, y carbono orgánico descargada al lago Llanquihue según actividad..... 46

## 1 INTRODUCCIÓN

La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Puerto Varas – Llanquihue, opera desde el año 1999 bajo concesión de la Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos S.A. (ESSAL). Ésta recibe todas las aguas servidas domésticas de ambas ciudades, y las trata a través de un tratamiento secundario en base a lodos activados por aireación extendida por alimentación continua. La disposición final del efluente generado corresponde al río Maullín (efluente del lago Llanquihue).

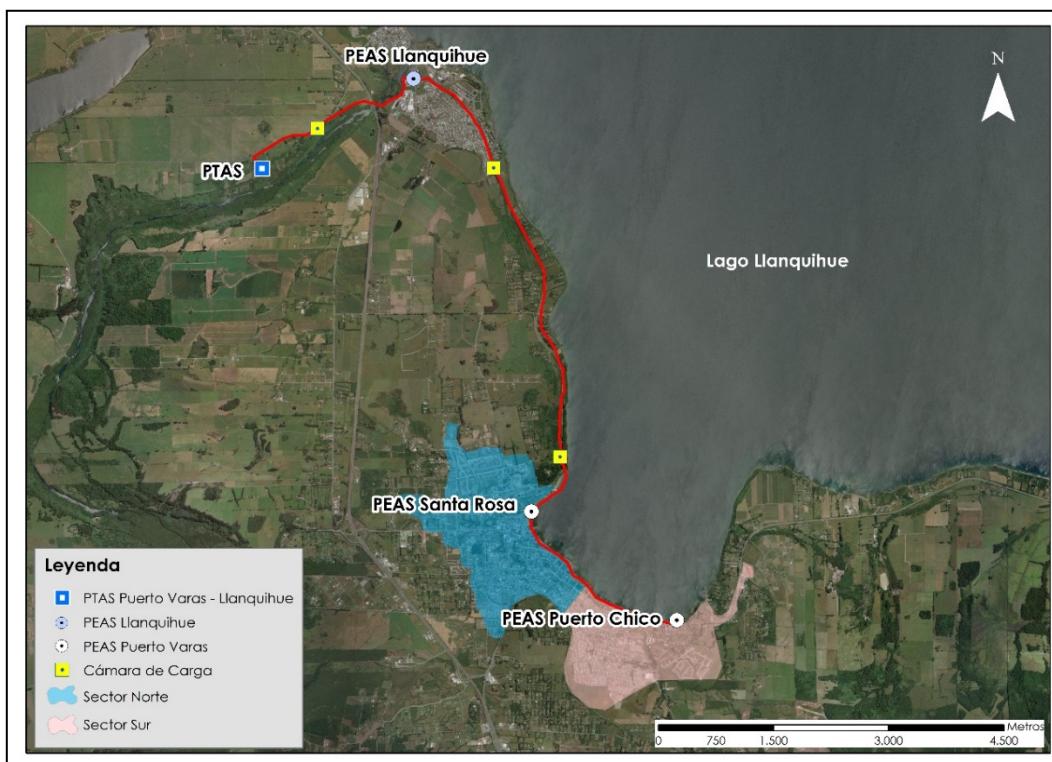
La Planta de Tratamiento fue ingresada al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través del Proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Puerto Varas – Llanquihue”, siendo calificado favorablemente el 2 de agosto del año 2000, mediante la Resolución Exenta (RCA) N° 337 de la Comisión Regional del Medio Ambiente de Los Lagos.

En Puerto Varas, la recolección de aguas servidas se realiza mediante la división de la ciudad en dos cuencas, llamadas sector norte y sector sur (Figura 1). A través de sus colectores, en cada sector se recolectan las aguas servidas domésticas generadas y se entregan a plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS), las que son utilizadas para impulsar las aguas servidas hacia la Planta de Tratamiento. En el sector sur, las aguas servidas se entregan a la PEAS Puerto Chico, la cual cuenta con tres equipos de bombeo, que impulsan las aguas, en una primera etapa, al sector céntrico de la ciudad. En el sector céntrico, las aguas recolectadas del sector sur se juntan con las aguas recolectadas en el sector norte de la ciudad, y son conducidas hasta la PEAS Santa Rosa, la cual cuenta con tres equipos de bombeo utilizados para impulsar las aguas servidas generadas hacia la ciudad de Llanquihue, en donde se ubica la PTAS (Figura 1).

De acuerdo con lo indicado en la Norma Chilena de Diseño de Plantas Elevadoras de Aguas Servidas (NCh 2472 Of2000), ambas plantas (Puerto Chico y Santa Rosa) cuentan con un sistema de rebose de emergencia, el cual consiste en una tubería que actúa de aliviadero, ubicada por sobre el nivel normal de escurrimiento. Este aliviadero permite evacuar, fuera del sistema de recolección de aguas servidas, los excesos recolectados cuando se supera la capacidad de elevación de la PEAS, causados por el ingreso de aguas lluvias al sistema o ante situaciones de emergencias, evitando así que estos excesos sean evacuados en las calles o viviendas. En el caso de ambas PEAS, los aliviaderos fueron diseñados para disponer

los excesos de aguas en el Lago Llanquihue, por ser éste el único cuerpo receptor existente en el área con capacidad para aceptarlas.

**Figura 1. Sistema de Recolección de Aguas Servidas de Puerto Varas**



Fuente: Elaboración propia.

En Puerto Varas, el sistema de recolección de aguas servidas no es unitario. Sin embargo, ante eventos de precipitación, igualmente parte de las aguas lluvias ingresan al sistema de recolección, formando las denominadas aguas mixtas. Esta situación está dada principalmente por la existencia de sumideros conectados a la red de alcantarillado de forma no autorizada y por otras prácticas de la ciudadanía que se traducen en conexiones irregulares, como también la apertura de las tapas de las cámaras de la red de recolección utilizándolas como mecanismo de control de inundaciones, debido a que la ciudad no cuenta con un Plan Maestro de Aguas Lluvias. Cuando se ha superado cierto nivel de aguas lluvias, el sistema de recolección de aguas servidas se ve sobrepasado, activándose los sistemas de aliviadero de tormenta de ambas PEAS. Estos aliviaderos pueden funcionar hasta 72 horas después de finalizado el evento de precipitaciones, según lo indicado en Instructivo de Uso de Aliviaderos de Tormenta

o de Emergencia en Sistemas de Alcantarillado de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

De acuerdo con las estimaciones realizadas por ESSAL, en el período invernal, las aguas lluvias que ingresan al sistema de recolección son 20 veces superiores al caudal de aguas servidas generado por la población. Esto ha llevado a la activación de los aliviaderos de tormentas de las PEAS Puerto Chico y Santa Rosa en reiteradas ocasiones. En agosto de 2017, la I. Municipalidad de Puerto Varas interpuso una demanda por daño ambiental en el Tercer Tribunal Ambiental contra ESSAL S.A. (Rol N° D 30-2017), imputando a esta última sociedad la responsabilidad por el daño ambiental ocasionado al Lago Llanquihue.

Este estudio se realizó para evaluar si las descargas de aguas mixtas desde los aliviaderos de tormenta de ESSAL han generado daño ambiental sobre el lago Llanquihue. Se evalúa la existencia de efectos ambientales eventualmente provocados por las descargas mediante un análisis del cuerpo receptor (lago Llanquihue) y de las diferentes descargas presentes en el lago Llanquihue.

## 2 OBJETIVO

El objetivo de este estudio es evaluar la existencia de efectos ambientales sobre el lago Llanquihue provocados por la descarga de aguas mixtas desde los aliviaderos de tormenta existentes en las Plantas Elevadoras de Aguas Servidas de ESSAL.

## 3 METODOLOGÍA

En esta sección se presenta el marco teórico y una descripción de los análisis realizados en este estudio.

### 3.1 Marco teórico

Las aguas servidas, debido a su origen, presentan altas concentraciones de compuestos orgánicos (DBO<sub>5</sub>, DQO), nutrientes (N y P) y coliformes fecales (CF) (Tabla 1). De esta manera, el potencial efecto sobre la calidad del agua del lago Llanquihue producido por las descargas de aguas mixtas se vería reflejado en un aumento en la concentración de estos parámetros, lo que eventualmente podría generar efectos ambientales.

**Tabla 1. Composición típica de aguas residuales domiciliarias.**

Parámetro	Concentración (mg/L)
<b>DBO<sub>5</sub><sup>1</sup></b>	250
<b>DQO<sup>2</sup></b>	500
<b>Nitrógeno total<sup>1</sup></b>	65
<b>Fósforo total<sup>1</sup></b>	10
<b>CF (NMP / 100 ml)<sup>1</sup></b>	10 <sup>7</sup>

Fuente: Valores característicos de aguas servidas según: 1DS 90/2000 y 2Metcalf-Eddy, 1991.

El potencial efecto ambiental del aumento en la concentración de materia orgánica (MO) en un lago es la disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en sus estratos inferiores. Esto debido a que su descomposición aeróbica, por parte de microorganismos, requiere el consumo oxígeno. Una diminución de OD disponible puede ser nocivo para los peces, pudiendo promover la generación de reacciones anaeróbicas y la liberación de gases tóxicos. Un aumento puntual en la concentración de MO, sin embargo, no necesariamente genera efectos a largo plazo ya que, una vez descompuesta, la materia orgánica es eliminada del sistema.

El aporte de nitrógeno y fósforo presenta un efecto distinto. Éste sí puede persistir en el sistema durante un período de tiempo prolongado (Jansson et al., 1994; Correll, 1998) y pueden originar lo que se denomina la eutrofización. Ella consiste en el aumento de la producción primaria de un ecosistema acuático producto del aporte excesivo de nitrógeno y fósforo, especialmente de este último (Zhao, 2004). Se caracteriza por el florecimiento de algas (fitoplancton) que rompe el equilibrio del ecosistema acuático y deteriora sus funciones. Disminuye la transparencia, reduciendo la penetración de la luz y, por ende, la fotosíntesis de las plantas sumergidas. Esto reduce la concentración de OD en los estratos inferiores lo que puede ser nocivo para la vida acuática. Además, debido al aumento en la producción primaria, estos sistemas acumulan MO cuya descomposición como se mencionó también consume OD, disminuyendo más aún su concentración, y produce gases tóxicos (Yang et al., 2008).

En este contexto, los lagos pueden clasificarse de acuerdo con su condición trófica en cuatro tipos: oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico (Smith et al., 1999). Un lago oligotrófico posee una baja concentración de nutrientes, un lago eutrófico posee una alta concentración de nutrientes y lagos mesotróficos presentan un nivel intermedio. Por su parte, un lago hipereutrófico contiene nutrientes en cantidades excesivas.

El principal criterio para clasificar el estado trófico de un lago corresponde a la concentración de clorofila-a, indicador del crecimiento de algas (Boyer et al., 2009). Por su parte, la concentración de nitrógeno y fósforo también son indicadores relevantes del nivel trófico de un lago. La Tabla 2 presenta la clasificación de los lagos de acuerdo con estos parámetros, descrita por Smith et al. (1999) y utilizada por la DGA (2014) en su informe “Evaluación de la Condición Trófica de la Red de Control de Lagos de la DGA”.

**Tabla 2. Clasificación de la condición trófica de lagos.**

Estado trófico	Fósforo total (µg/L)	Nitrógeno total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)
Oligotrófico	< 10	< 350	< 3,5
Mesotrófico	10 - 30	350 – 650	3,5 - 9
Eutrófico	30 -100	650 – 1.200	9 - 25
Hipertrófico	> 100	> 1.200	> 25

Fuente: Smith et al., 1999. Los valores corresponden a promedios del epilimnio en verano.

Para evaluar los posibles efectos ambientales provocados por las descargas de aguas mixtas, se examinaron los parámetros que determinan su estado trófico. Se utilizó la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) del lago Llanquihue como referencia (Tabla 4) ya que, como se explicará en la Sección 3.2.1, fue diseñada para velar por la mantención de la calidad del agua del lago Llanquihue, y específicamente de su oligotrofia. También se utilizaron como valores de referencia los propuestos por Smith et al. (1999) para la clasificación general del nivel trófico de lagos (Tabla 2). Por otra parte, también se analizó la concentración de CF en la posible área de influencia de las descargas y la concentración de DQO, DBO<sub>5</sub> y OD para evaluar otros efectos potenciales.

### 3.2 Análisis realizados

En este estudio se analizaron dos temáticas principales para evaluar si las descargas desde los aliviaderos de tormenta provocaron algún efecto ambiental sobre el lago Llanquihue:

- (i) La existencia de cambios en la calidad del agua y sedimentos en el cuerpo receptor, capaces de generar efectos ambientales (ej. eutrofización).
- (ii) El potencial efecto de las descargas de los aliviaderos de tormenta de ESSAL y de otras descargas en el cuerpo receptor.

De esta manera, se caracterizó el cuerpo receptor (lago Llanquihue) y las posibles fuentes que pueden influir en su estado (descargas de ESSAL y de otros proyectos o fuentes identificadas y existentes en el lago Llanquihue).

El estudio se basó en la recopilación, sistematización y análisis de información proveniente de distintas fuentes, conforme a lo indicado en la Tabla 3 de esta presentación. Se utilizó información levantada en intensivas campañas de terreno e información procesada en diversos estudios realizados a la fecha por ESSAL. Además, se utilizó información de monitoreos e informes realizados por otros organismos públicos y privados.

**Tabla 3. Fuentes de información utilizadas.**

Autor	Descripción
ESSAL, 2010 (Departamento de Ingeniería)	“Catastro y caracterización ambiental de las descargas efluentes al Lago Llanquihue en la ciudad de Puerto Varas”.
POCH, 2012	Revisión de antecedentes evento de descarga de aguas servidas Planta Elevadora Santa Rosa – ESSAL S.A.
POCH, 2017	Catastro de descargas y evaluación de calidad del agua en el lago Llanquihue, sector de playa centro, Puerto Varas.
SGS, 2017	Análisis de muestras de agua y sedimentos provenientes de la bahía de Puerto Varas (octubre de

Autor	Descripción
	2017). Campañas realizadas bajo dos escenarios: aliviaderos de tormenta activos (campaña 1) y aliviaderos de tormenta inactivos (campaña 2).
Innovex, 2017	Levantamiento de información oceanográfica y atmosférica: Sector Puerto Varas. (estudio de corrientes)
Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), 2017	“Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura, en la zona sur austral de chile, IV etapa”.
Dirección General de Aguas (DGA), Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), y Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2012.	Primer informe de calidad (2012) “Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue”. pp 62.
DGA, 2013	Segundo informe de calidad. “Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue”. pp 51.
DGA, 2014	Tercer informe de calidad. “Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue”. pp 112.
DGA, 2015	Antecedentes para elaborar informe de calidad. “Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue”. pp 21.
DGA, 2016	Antecedentes para elaborar informe de calidad. “Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue”. pp 33.
DGA, 2017 <sup>1</sup>	Informe de Ensayo Lagos - Laboratorio Ambiental DGA DCPRH (informe 30/03/2017).

Autor	Descripción
DIRECTEMAR	Registros históricos de calidad del agua y sedimentos (periodo 2000 – 2011) del Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L).
Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), 2017 <sup>1</sup>	Reportes de calidad de agua de establecimientos que descargan al lago Llanquihue o a sus afluentes (DS 90/2001).  Informe Técnico: Cumplimiento de normas de calidad del agua - norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue (periodo 2015-2016).

Fuente: Elaboración propia. <sup>1</sup>Información solicitada a través del Portal de Transparencia del Estado.

Es importante mencionar que las campañas de terreno realizadas en octubre de 2017 estuvieron a cargo del laboratorio SGS Chile, el cual corresponde a una Entidad Técnica de Fiscalización Ambiental autorizada por la SMA. Los documentos que lo certifican se presentan en el Anexo A.

Como análisis adicional, a partir de los resultados obtenidos en las campañas de SGS se estimó el área de influencia y la distribución espacial de la calidad del agua en toda la bahía de Puerto Varas. Para esto se discretizó con alta resolución y tridimensionalmente el dominio de la bahía y se interpolaron los parámetros de calidad del agua en tal dominio. La descripción de la metodología utilizada se presenta en el Anexo B. Se debe considerar que el análisis efectuado a partir de las campañas realizadas en octubre de 2017, representa la realidad de ese periodo por lo que sus conclusiones deben ser complementadas con aquéllas obtenidas a partir de los análisis de evolución de los registros históricos de las estaciones NSCA, DGA y DIRECTEMAR presentados en la sección 4.1.1, y de los análisis de sedimentos presentados en las secciones 4.1.1b) y 4.1.2c).

### 3.2.1 Análisis del cuerpo receptor

En esta sección se analiza la evolución temporal y distribución espacial de la calidad del agua y sedimentos en la bahía de Puerto Varas y sus alrededores.

a) Descripción del lago Llanquihue

El lago Llanquihue es el segundo lago de mayor extensión de Chile. Su perímetro es de 196,5 km y comprende una superficie de 870,5 km<sup>2</sup>. La profundidad promedio se ha estimado en 182 m, y alcanza los 317 m. El lago almacena un volumen de agua de 158,6 km<sup>3</sup> y tiene como único efluente al río Maullín (D.S. N°122/2010 del MINSEGPRES). El principal aporte de agua corresponde a precipitaciones directas sobre su superficie y la tasa de renovación teórica de sus aguas varía entre 49 a 85 años (IFOP, 2017).

Actualmente el lago Llanquihue presenta una condición oligotrófica, la que está protegida desde el año 2011 por la Norma Secundaria de Calidad Ambiental del lago Llanquihue (NSCA; D.S. N°122/2010). El objetivo de este decreto fue constituir un instrumento básico para el desarrollo sustentable del lago, previniendo el deterioro ambiental, protegiendo y conservando la biodiversidad acuática y previniendo la eutrofización antrópica.

La NSCA del lago Llanquihue establece los niveles mínimos de calidad para distintos parámetros representativos de la calidad del agua, dividiendo al lago en cuatro áreas de vigilancia (Tabla 4). Los límites definidos para cada uno de ellos se basan en los diversos estudios realizados en el lago y analizados durante la elaboración de la norma, los cuales dan cuenta de la calidad de sus aguas y su estado oligotrófico, por lo que ellos, responden al objetivo de la norma (D.S. N°122/2010).

**Tabla 4. Parámetros de calidad del agua y límites establecidos en la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para el lago Llanquihue en sus cuatro áreas de vigilancia.**

Parámetro	Puerto Octay	Frutillar	Ensenada	Puerto Varas
Conductividad (μS/cm)	110	110	110	<b>110</b>
pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	<b>6,5-8,5</b>
Oxígeno disuelto (mg/L)	≥8,5	≥8,5	≥8,5	<b>≥8,5</b>
Oxígeno disuelto (% de saturación)	≥85	≥85	≥85	<b>≥85</b>
Turbiedad (NTU)	2,1	2,1	2,4	<b>2,5</b>
Sílice (mg/L)	1,83	1,84	1,77	<b>1,8</b>

Parámetro	Puerto Octay	Frutillar	Ensenada	Puerto Varas
DQO (mg/L)	4,8	4,9	6	<b>5</b>
Transparencia (m)	≥ 13,5	≥ 14	≥ 16	<b>≥ 12,5</b>
Nitrógeno total (mg/L)	0,12	0,14	0,13	<b>0,13</b>
Fósforo total (mg/L)	0,01	0,01	0,01	<b>0,01</b>
Clorofila a (µg/L)	1,4	1,4	1,4	<b>1,4</b>

Fuente: D.S. N°122/2010 del MINSEGPRES.

- b) Análisis de la evolución de la calidad del agua y sedimentos en el cuerpo receptor

Para evaluar si existieron cambios en el cuerpo receptor durante el periodo estudiado, se analizó:

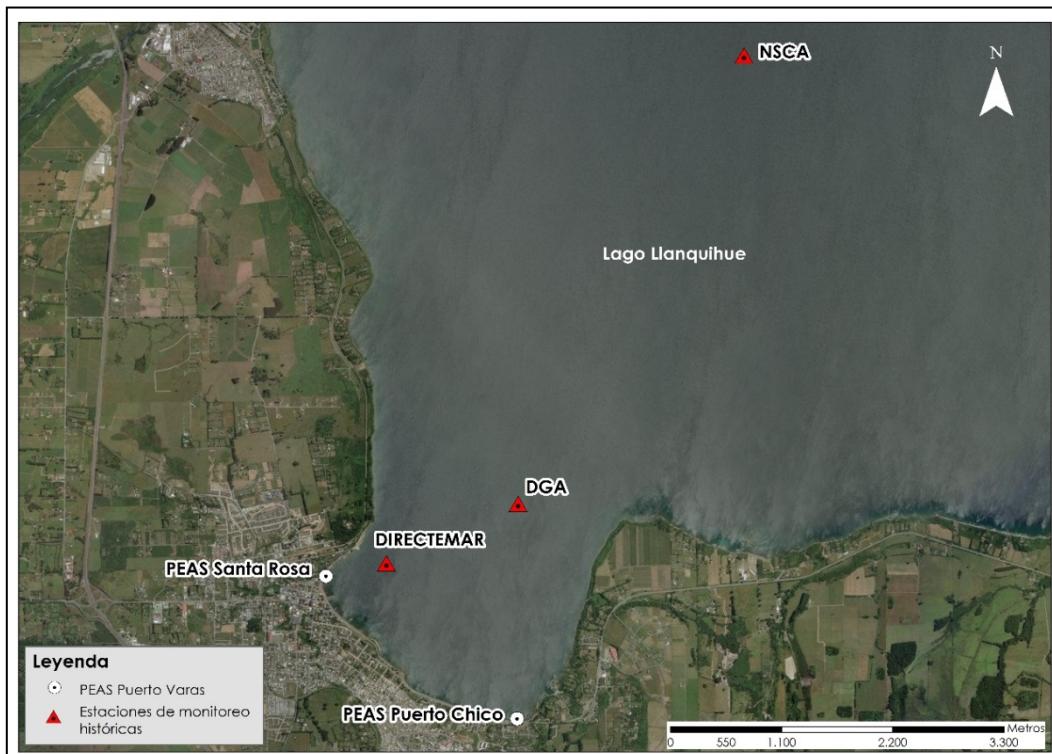
- Evolución histórica de la calidad del agua y de los sedimentos en estaciones de monitoreo con registro sistemático, ubicadas en puntos cercanos al sector de las descargas de ESSAL (PEAS Puerto Chico y Santa Rosa). Estas estaciones corresponden a las de la DIRECTEMAR (periodo 2000 – 2011), DGA (periodo 2000 – 2014) y NSCA (periodo 2010-2017) (ver Figura 2 y Tabla 5).
- Comparación de la calidad del agua y de los sedimentos entre la zona de influencia de las descargas de ESSAL y el área fuera de ella. La zona de influencia de las descargas se estimó utilizando las mediciones realizadas por SGS (2017).
- Comparación de la calidad del agua en la zona de influencia de las descargas con la norma de referencia NSCA (Tabla 4) y con los niveles propuestos para la clasificación del nivel trófico de lagos (Tabla 2).

**Tabla 5. Coordenadas de las estaciones de monitoreo históricas en la bahía de Puerto Varas.**

Estación de monitoreo	Coordenadas UTM (Datum WGS 84 – huso 18)	
	Este (m E)	Norte (m S)
NSCA	673.039	5.429.534
DGA (agua)	670.803	5.425.018
DIRECTEMAR (Agua y Sedimentos)	669.500	5.424.419

Fuente: Elaboración propia

**Figura 2. Ubicación de la PEAS Puerto Chico, PEAS Santa Rosa y de las estaciones de monitoreo históricas de calidad del agua y sedimentos en la bahía de Puerto Varas.**



Fuente: Elaboración propia. NSCA: estación de monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, representativa del área de vigilancia Puerto Varas (2010 – 2017); DGA: estación de monitoreo de la Dirección General de Aguas (2000-2014); y DIRECTEMAR: estación de monitoreo de Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante de Chile (2000 – 2011).

### 3.2.2 Análisis de las posibles fuentes

Existen distintas fuentes que descargan al lago Llanquihue, por lo que de existir cambios en el cuerpo receptor no necesariamente serán generados por las descargas de ESSAL. Para evaluar su contribución, se estimó la carga de contaminantes aportada por cada una de las fuentes que actualmente descargan al lago<sup>11</sup>. Específicamente se realizó:

- Caracterización de las descargas de aguas mixtas de ESSAL: calidad del agua, fechas, duración de las descargas y carga anual de contaminantes aportada.
- Caracterización de otras descargas en el litoral de Puerto Varas y en el lago Llanquihue: calidad del agua, caudales, y carga anual de contaminantes aportada, en caso de ser posible.

## 4 EVALUACIÓN DE EFECTOS AMBIENTALES POR DESCARGA DE AGUAS MIXTAS

En esta sección se evalúa si existieron cambios en la calidad del agua y/o sedimentos del lago Llanquihue en el sector Puerto Varas, provocados por la descarga de aguas mixtas desde los aliviaderos de tormenta de ESSAL, que hayan podido generar efectos ambientales.

### 4.1 Análisis del cuerpo receptor

#### 4.1.1 Evolución histórica de la calidad del agua y de los sedimentos en el lago Llanquihue

##### a) Calidad del agua

La evolución histórica de los parámetros potencialmente afectados por la descarga de aguas mixtas en el lago Llanquihue se presenta y discute a continuación, de acuerdo a las distintas fuentes de información disponibles. La

---

<sup>11</sup> Fuentes identificadas en el estudio de IFOP (2017) y en el catastro de descargas realizado por SGS (2017), POCH (2017), POCH (2012) y ESSAL (2010).

última medición presentada (octubre de 2017) corresponde a la campaña 2 realizada por SGS. Se presentan los resultados de esa campaña por ser representativa de la calidad del agua del lago, ya que durante la campaña 1 los aliviaderos se encontraban activos lo que podría alterarla temporalmente y no reflejar la condición predominante.

- Estación de monitoreo de la NSCA en el área de vigilancia de Puerto Varas (NSCA)

La estación de monitoreo oficial de evaluación de norma secundaria de calidad ambiental, representativa del sector litoral de Puerto Varas (y más próxima a las descargas) corresponde a la estación del área de vigilancia de Puerto Varas (Figura 2). Esta estación, si bien se encuentra a 7 km del litoral, es monitoreada sistemáticamente por la autoridad lo que permite evaluar las tendencias históricas de calidad del agua del sector.

A continuación, se analiza la evolución temporal de la calidad del agua en la estación de monitoreo NSCA. Este análisis considera los resultados presentados en los informes de la DGA para los años 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, los análisis realizados el año 2017 por la DGA (que aún no son presentados en informe anual) y la medición realizada en octubre de 2017 por SGS. La Figura 3 presenta la evolución temporal de la calidad del agua, que corresponde a los valores de cada parámetro a las distintas profundidades (0, 15, 30, 50, 80 y 100 m; ó 0, 30 y 80 m, según la estación del año de monitoreo) ponderadas por su aporte volumétrico (Tabla 6). Es importante notar que este análisis se realizó con fines comparativos para evaluar la eventual superación de los límites definidos en la norma de calidad del lago y no pretende evaluar el cumplimiento de la norma.

**Tabla 6. Volumen aproximado de agua contenido en el área de vigilancia de Puerto Varas por rango de profundidad definido para el monitoreo de verano e invierno (estaciones con y sin estratificación, respectivamente).**

Estrato del lago (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	%
Verano (estación con estratificación)		
0 - 7,5	1,01E+09	10,1
7,5 - 22,5	1,86 E+09	18,4
22,5 - 40	1,96 E+09	19,4

Estrato del lago (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	%
40 - 65	2,21 E <sup>+09</sup>	21,9
65 - 89	1,42 E <sup>+09</sup>	14,1
89 - máx.	1,62 E <sup>+09</sup>	16,1
Total	1,01 E <sup>+10</sup>	100
<i>Invierno (estación sin estratificación)</i>		
0 - 15	1.97 E <sup>+09</sup>	19.5
15 - 65	5.07 E <sup>+09</sup>	50.3
65 – máx.	3.05 E <sup>+09</sup>	30.2
Total	1,01 E <sup>+10</sup>	100

Fuente: DGA, DIRECTEMAR Y MMA, 2012.

La evolución temporal de la calidad del agua en la estación de la NSCA no presenta tendencias definidas (Figura 3). Si bien la concentración de fósforo presentaba una tendencia al alza en los últimos monitoreos efectuados hasta fines del año 2016, ésta parece haberse revertido el año 2017, de acuerdo a los resultados obtenidos en marzo de 2017 por la DGA y en el mes de octubre de 2017 por SGS. **Las tendencias y concentraciones observadas en esta estación no evidencian un cambio en el estado trófico del lago.**

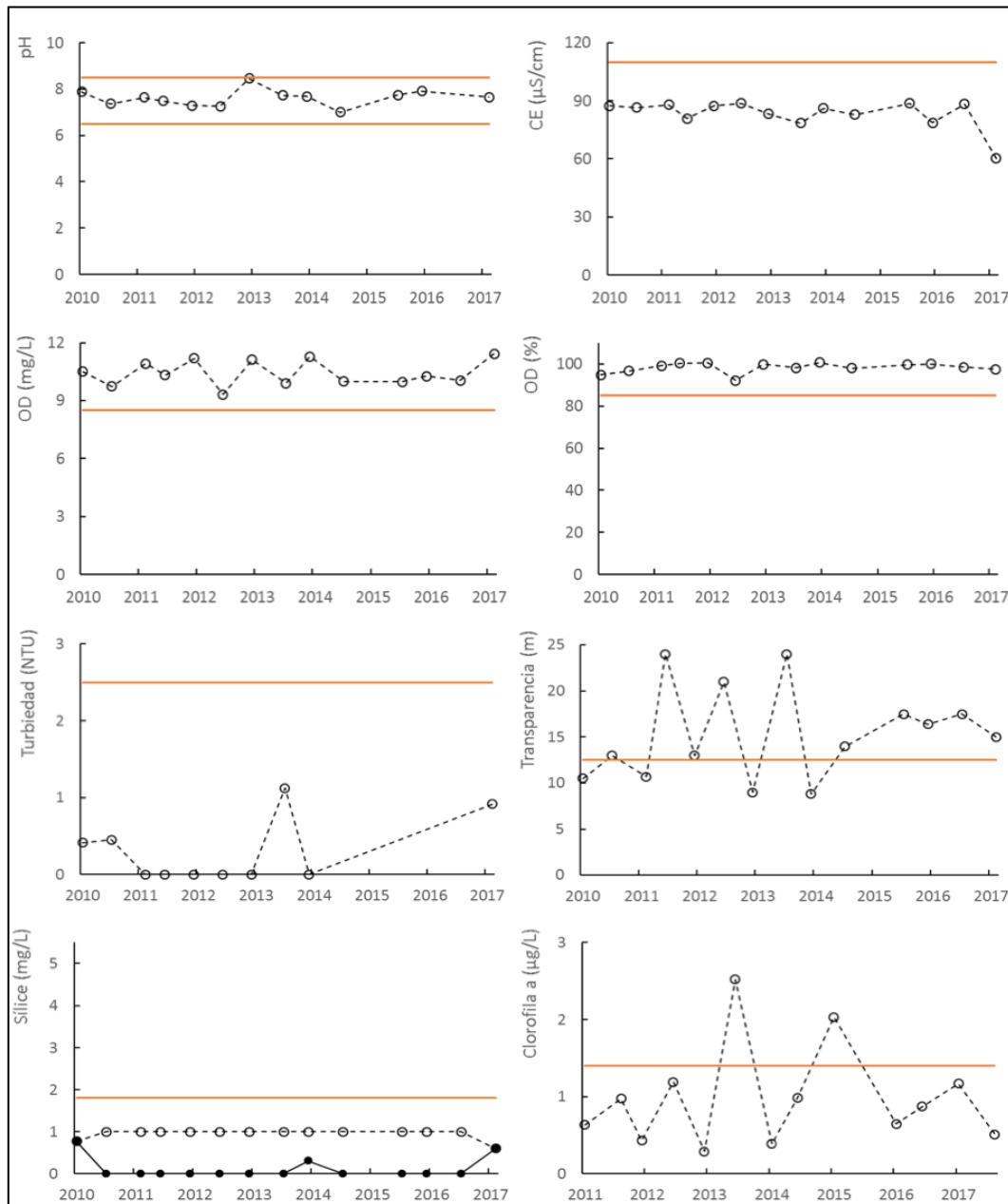
En la medición realizada en octubre de 2017 (campaña 2, SGS) sólo un parámetro supera el límite de la NSCA (nitrógeno total= 0,16 mg/L; Figura 3). Esto se debe a la concentración observada en la superficie (nitrógeno total = 0,46 mg/L, Anexo A). Sin embargo, no se observa una tendencia sostenida al alza en la estación a esa profundidad (datos no mostrados en las figuras adjuntas) y las concentraciones a todas las demás profundidades se encuentran bajo el límite de detección<sup>2</sup> (<0,13 mg/L, Anexo A). **Al comparar el resto de los parámetros**

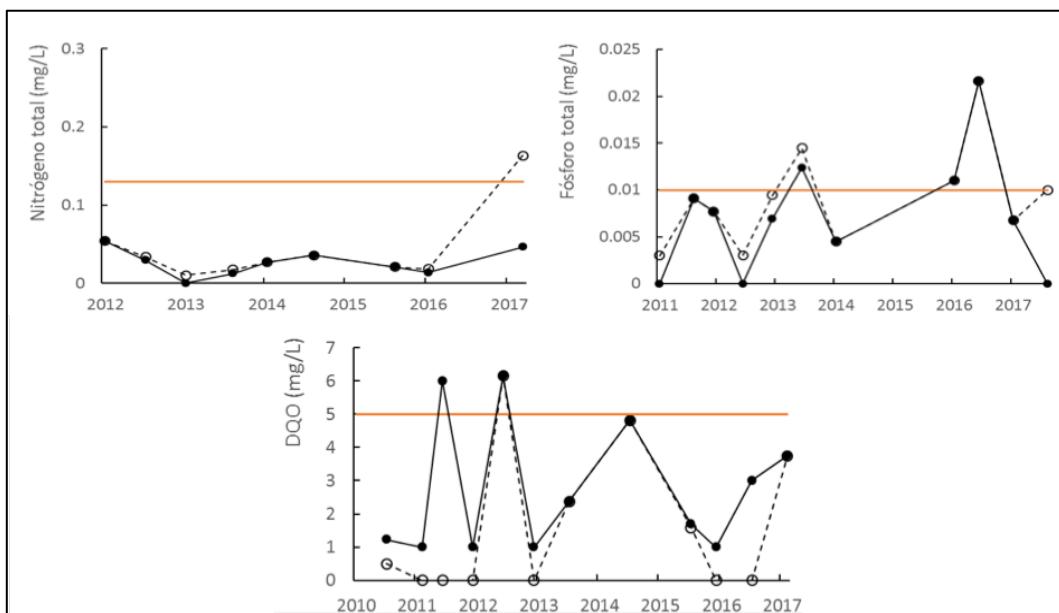
---

<sup>2</sup> En forma conservadora, para la determinación de la concentración de nitrógeno total se ponderó la concentración obtenida a cada profundidad con el volumen correspondiente (Tabla 6), considerando el valor del límite de detección para aquellos puntos con concentración por debajo de dicho límite.

con los límites establecidos en la NSCA se observa que todos se encuentran dentro de dichos límites (Figura 3).

**Figura 3. Evolución temporal de la calidad del agua en la estación de monitoreo de la NSCA en el área de vigilancia de Puerto Varas.**





Fuente: Elaboración propia en base a: informes 1 a 5 de la DGA para el seguimiento de la NSCA del lago Llanquihue, análisis realizados el año 2017 por la DGA para seguimiento de NSCA (solicitados por transparencia, aún no presentados en el informe oficial anual) y medición realizada en octubre de 2017 por SGS (campaña 2). Se presentan dos curvas en las que se aplicaron dos supuestos distintos: línea discontinua: las mediciones reportadas bajo el LD se consideraron con valor = 0; línea continua: las mediciones reportadas bajo el LD se consideraron con valor = LD. De esta manera, la zona entre ambas curvas corresponde a los valores que puede tomar cada parámetro.

- Estación de monitoreo DGA

La DGA cuenta con registros históricos del sector de Puerto Varas para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2014 (Figura 2). Al comparar estos registros con los resultados obtenidos en octubre de 2017 (campaña 2 de SGS), **se observa que la mayoría de los parámetros (81%) se encuentran dentro del rango histórico** (Tabla 7), sin tendencias al alza o a la baja. En la Figura 4 se presenta, a modo de ejemplo, la evolución temporal de la concentración de fósforo total. Cabe señalar que los valores graficados durante el año 2017, para las profundidades de 15 y 30 m corresponden al límite de detección del método analizado, ya que **todas las concentraciones de este parámetro se encontraron por debajo de dicho límite**.

Los únicos parámetros que superan los máximos históricos, en algunas profundidades, son el nitrógeno total (15 m), el nitrato (0 m y 15 m) y el oxígeno

disuelto (0, 15 y 30 m). La concentración de nitrógeno total a la profundidad de 15 m (0,8 mg/L) se encuentra dentro del rango eutrófico según la clasificación de Smith (1999), sin embargo, históricamente se han observado valores mayores de nitrógeno en puntos de monitoreo cercanos, por ejemplo, el año 2000 se alcanzaron concentraciones de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) de 4,1 mg/L en la estación de la DIRECTEMAR (Figura 5). Por otra parte, la superación del máximo histórico de la concentración de OD se explica por la baja temperatura del agua, lo que aumenta su solubilidad. Esto puede corroborarse con el valor de porcentaje de saturación que sí se encuentra dentro del rango histórico. Cabe notar que un aumento en la concentración de OD no refleja un deterioro de la calidad del agua del lago.

**Tabla 7. Comparación de los estadígrafos de calidad del agua en la estación de monitoreo de la DGA (2000 – 2014) con los resultados de la campaña de octubre de 2017 (SGS), a tres profundidades (0 m, 15 m y 30 m).**

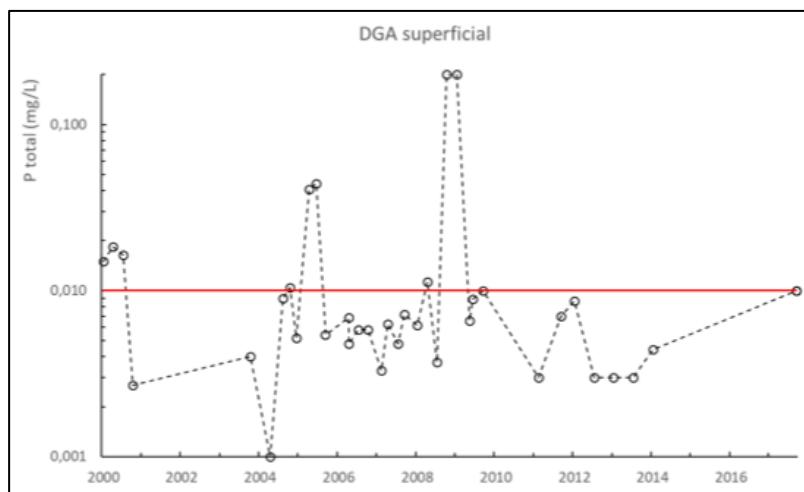
Parámetro	Promedio	DE	n	Máximo	Octubre de 2017
Superficie (0 m)					
Nitrato (N-NO <sub>3</sub> ) (mg/l)	0,032	0,048	34	0,2	0,42
Nitrito (N-NO <sub>2</sub> ) (mg/l)	0,002	0,002	35	0,006	<0,02
Amonio (N-NH <sub>4</sub> ) (mg/l)	0,018	0,014	35	0,07	<0,03
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	0,011	0,017	3	0,03	<0,13
Nitrógeno Total (mg/l)	0,141	0,159	14	0,57	0,440
Ortofósфato (P-PO <sub>4</sub> ) (mg/l)	0,004	0,003	33	0,016	<0,02
Fósforo Total (mg/l)	0,020	0,046	35	0,2	0,010
Clorofila a (ug/l)	0,733	0,633	32	2,6	0,46
Sílice (mg/l SiO <sub>2</sub> )	1,132	0,411	32	1,73	0,7
DQO (mg/l)	11,4	11,3	32	41,1	3
Temperatura (°C)	13,62	2,72	35	17,86	8,7
CE (μS/cm)	86,42	2,95	42	93,5	61
pH	7,64	0,33	43	8,41	8
Oxígeno disuelto (mg/l)	10,07	0,72	42	11,45	12,2
Saturación de oxígeno (%)	96,4	4,92	43	109,8	105
Turbiedad (NTU)	1,67	1,89	24	7,5	0,82

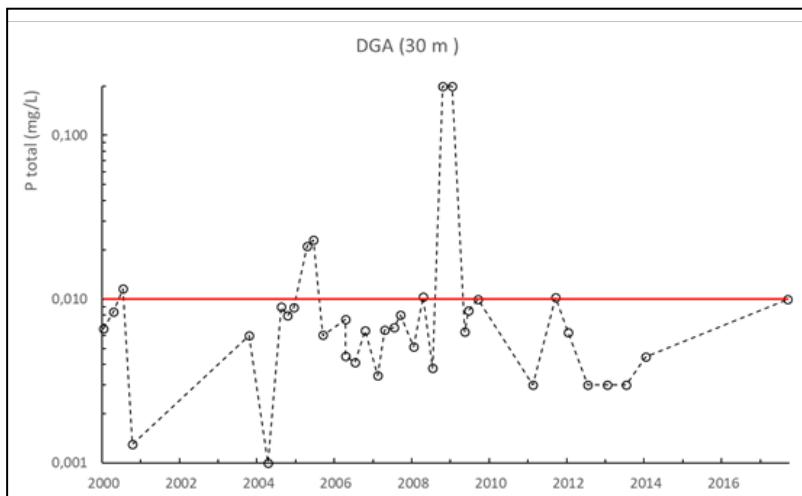
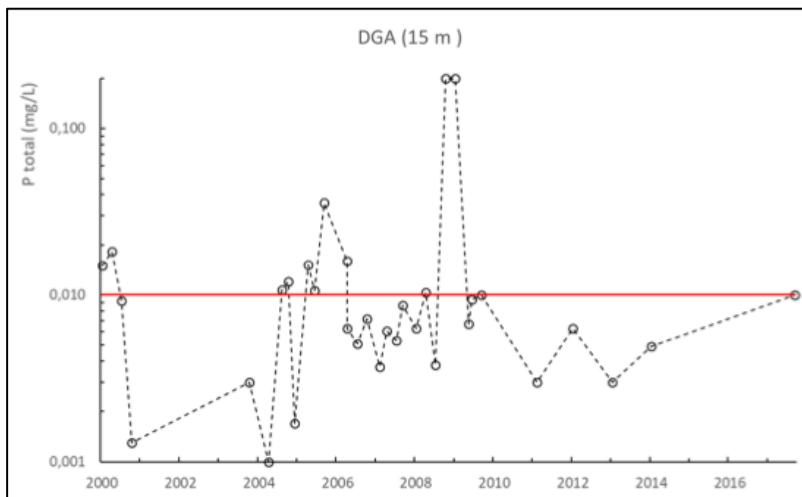
Parámetro	Promedio	DE	n	Máximo	Octubre de 2017
15 m					
Nitrato (N-NO3) (mg/l)	0,034	0,049	31	0,2	0,75
Nitrito (N-NO2) (mg/l)	0,001	0,001	32	0,006	<0,02
Amonio (N-NH4) (mg/l)	0,021	0,020	32	0,11	<0,03
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	0,001	-	1	0,001	<0,13
Nitrógeno Total (mg/l)	0,133	0,092	12	0,338	0,8
Ortofósforo (P-PO4) (mg/l)	0,003	0,001	29	0,007	<0,02
Fósforo Total (mg/l)	0,020	0,048	32	0,2	<0,01
Clorofila a (ug/l)	0,728	0,585	29	2,7	0,46
Sílice (mg/l SiO2)	1,195	0,557	29	3,19	0,6
DQO (mg/l)	10,5	12,2	29	40,8	4
Temperatura (°C)	13,6	2,63	33	17,6	8,6
CE (µS/cm)	86,3	2,83	40	93,5	60
pH	7,62	0,29	41	8,15	7,9
Oxígeno disuelto (mg/l)	10,0	0,62	40	11,3	12,2
Saturación de oxígeno (%)	95,6	4,39	41	102,6	105
Turbiedad (NTU)	2,23	2,14	21	7,5	1,28
30 m					
Nitrato (N-NO3) (mg/l)	0,031	0,047	34	0,2	0,005
Nitrito (N-NO2) (mg/l)	0,002	0,002	35	0,006	<0,02
Amonio (N-NH4) (mg/l)	0,019	0,014	35	0,08	0,030
Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	0,014	0,023	3	0,04	<0,13
Nitrógeno Total (mg/l)	0,113	0,095	14	0,29	<0,13
Ortofósforo (P-PO4) (mg/l)	0,004	0,002	33	0,013	<0,02
Fósforo Total (mg/l)	0,018	0,046	35	0,2	<0,01
Clorofila a (ug/l)	0,822	0,652	32	2,7	0,52
Sílice (mg/l SiO2)	1,156	0,480	32	2,28	0,6
DQO (mg/l)	9,97	14,5	32	52,7	4

Parámetro	Promedio	DE	n	Máximo	Octubre de 2017
Temperatura (°C)	13,23	2,59	35	17,1	8,2
CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	86,3	2,72	42	93,3	59
pH	7,61	0,32	43	8,51	7,9
Oxígeno disuelto (mg/l)	10,0	0,64	42	11,4	12,2
Saturación de oxígeno (%)	95,3	4,27	43	104	105
Turbiedad (NTU)	2,28	2,82	25	10,7	1,17

Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DGA (2000 – 2014). Se consideraron los datos de monitoreo clasificados como “medio 1” y “medio 2” como profundidades 15 m y 30 m, respectivamente. DE: desviación estándar; n: número de datos.

**Figura 4. Evolución temporal de la concentración de fósforo total en la estación de monitoreo de la DGA.**





Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DGA y campaña 2 de SGS. Para las profundidades 15 m y 30 m, la concentración de fósforo en la campaña 2 se encontró bajo el LD (0,01 mg/L), pero se presenta con valor = LD en el gráfico.

- Estación de monitoreo DIRECTEMAR

La DIRECTEMAR realizó monitoreos estacionales en la bahía de Puerto Varas durante el periodo 2000-2011. Su estación corresponde al punto de monitoreo histórico más cercano al sector de descarga de ESSAL y por lo tanto la que pudiese ser más representativa de sus efectos locales (Figura 2).

Al comparar los registros históricos en la estación de la DIRECTEMAR con los resultados obtenidos en octubre de 2017, **se observa que todos los parámetros**

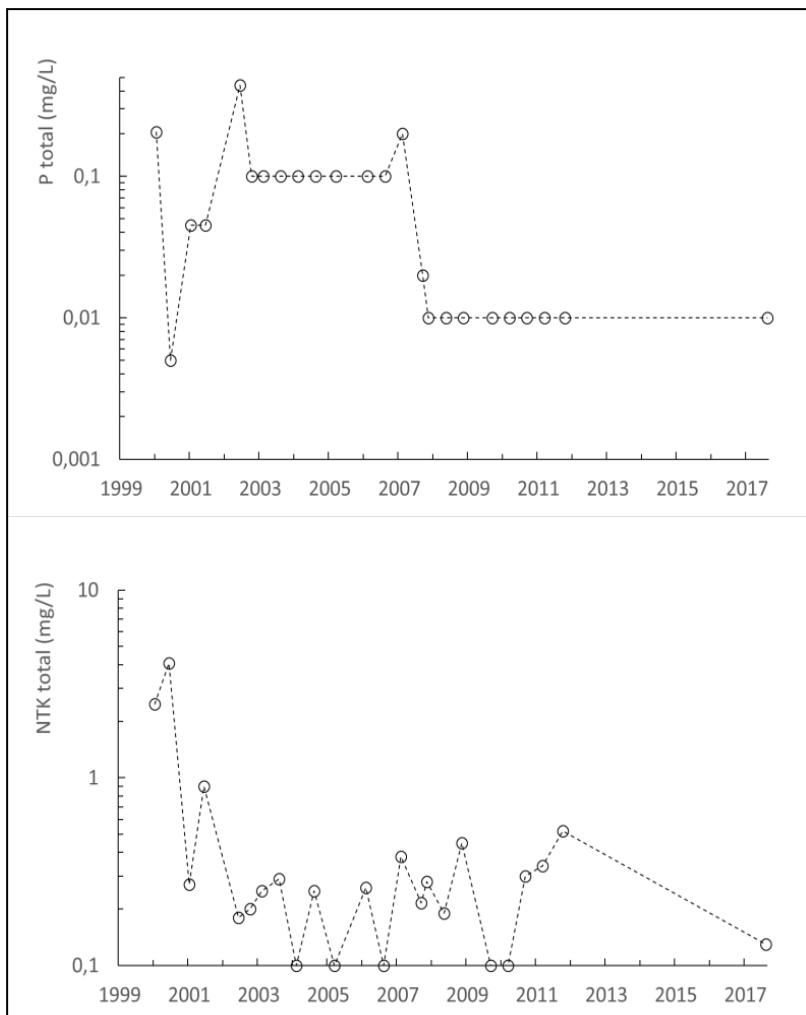
**se encuentran dentro del rango histórico** (Tabla 7). Además, no se evidencian tendencias al alza o a la baja. En la Figura 5 se presenta la evolución temporal de la concentración del fósforo total y NTK como ejemplo.

**Tabla 8. Estadígrafos de la calidad del agua en la estación de monitoreo de la DIRECTEMAR (periodo 2000 – 2011, a 0 m de profundidad).**

Parámetro	Promedio	DE	n	Máximo	Octubre de 2017
Fosfato (mg/l)	0,16	0,24	23	0,92	<0,06
Fósforo total (mg/l)	0,08	0,10	23	0,44	0,01
Nitrato (mg/l)	0,07	0,11	22	0,34	<0,02
NTK (mg/l)	0,54	0,92	23	4,09	<0,13
Amonio (mg/l)	0,04	0,03	22	0,12	<0,03
OD (mg/l)	8,42	0,57	10	9,42	9,3
Clorofila a (mg/l)	0,28	0,08	17	0,5	0,00022
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	1,45	0,64	18	2,79	<2
DQO (mg/l)	10,56	2,36	18	20	<2

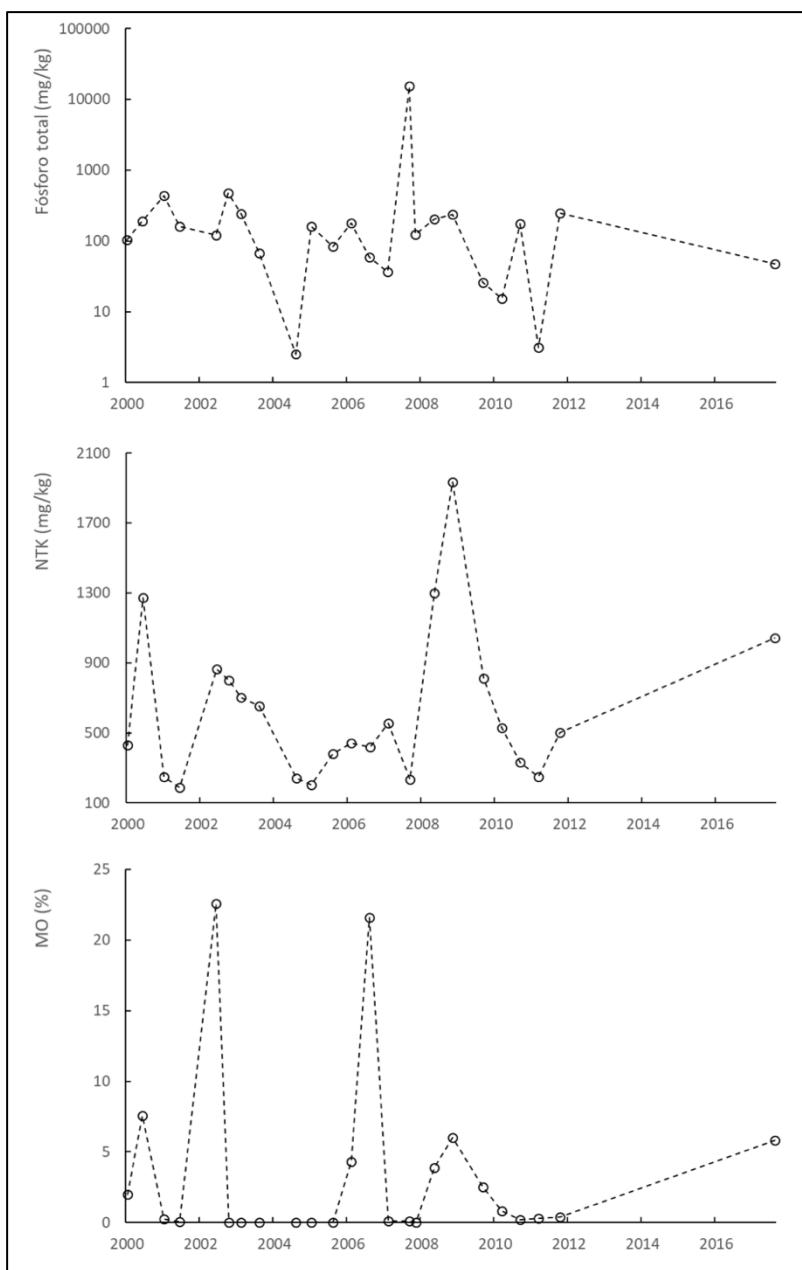
Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DIRECTEMAR (“valor luego de aplicado el criterio”) y a campaña 2 de SGS.

**Figura 5. Evolución temporal de la concentración de fósforo total y nitrógeno total Kjeldahl (NTK) en el punto de monitoreo DIRECTEMAR. Último valor corresponde a octubre de 2017.**



Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DIRECTEMAR (se utilizaron los datos catalogados en la base de datos como “valor luego de aplicado el criterio”) y a campaña 2 de SGS. Se presentan las concentraciones en escala logarítmica para su mejor visualización, dada las diferencias de magnitud entre mediciones. Los plateaus observados en la concentración de fósforo se deben a los diferentes límites de detección de las mediciones. Sólo se presenta la evolución temporal de NTK y no de nitrógeno total, ya que este último no se encuentra dentro de los registros de la DIRECTEMAR.

**Figura 6. Evolución temporal de la calidad de los sedimentos en la estación de monitoreo de la DIRECTEMAR.**



Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DIRECTEMAR (“valor luego de aplicado el criterio”) y campaña 2 de SGS (2017). Debido a que las diferencias encontradas entre mediciones de fósforo superan los dos órdenes de magnitud, su concentración se presenta en escala logarítmica para una mejor visualización.

## b) Calidad de sedimentos

La calidad de los sedimentos del lago Llanquihue en la bahía de Puerto Varas se ha monitoreado históricamente en la estación de la DIRECTEMAR (2000 – 2011), estos registros se presentan en la Figura 6. Se puede observar que la concentración de P, NTK<sup>3</sup> y MO determinada en octubre de 2017 **se encuentra dentro del rango histórico observado**. No se evidencian tendencias al alza o a la baja (Figura 6). Esto sugiere que no ha habido acumulación significativa de N, P o MO en los sedimentos de ese sector en los últimos 17 años.

El análisis consolidado de todos los resultados históricos presentados en esta sección **permite observar que la evolución temporal en las estaciones de monitoreo con registros históricos de agua y sedimentos no evidencia tendencias significativas al alza o a la baja presentando un comportamiento oscilante**. Además, en todas ellas, **la mayoría de las mediciones realizadas en octubre de 2017 (campaña 2 de SGS) se encuentran dentro del rango histórico**.

### 4.1.2 Distribución espacial de la calidad del agua y sedimentos: comparación dentro y fuera del área de influencia de las descargas

A continuación, se realiza un análisis de las dos campañas realizadas por SGS en octubre de 2017 para estimar el área de influencia de las descargas de aguas mixtas de ESSAL. Luego se analiza la distribución espacial de los distintos parámetros bajo análisis, comparando la calidad del agua y sedimentos dentro y fuera de ella.

#### a) Estimación del área de influencia de las descargas

El área de influencia de las descargas de los aliviaderos de tormenta fue estimada a partir de los resultados de las dos campañas efectuadas en octubre de 2017 por SGS. Estas campañas se realizaron bajo dos escenarios: con aliviaderos de tormenta activos (11 y 12 de octubre) y con aliviaderos inactivos (15 y 16 de octubre).

---

<sup>3</sup> En la estación de la DIRECTEMAR sólo se determina el NTK y no el NT, por lo que sólo se presenta la evolución de NTK en el tiempo.

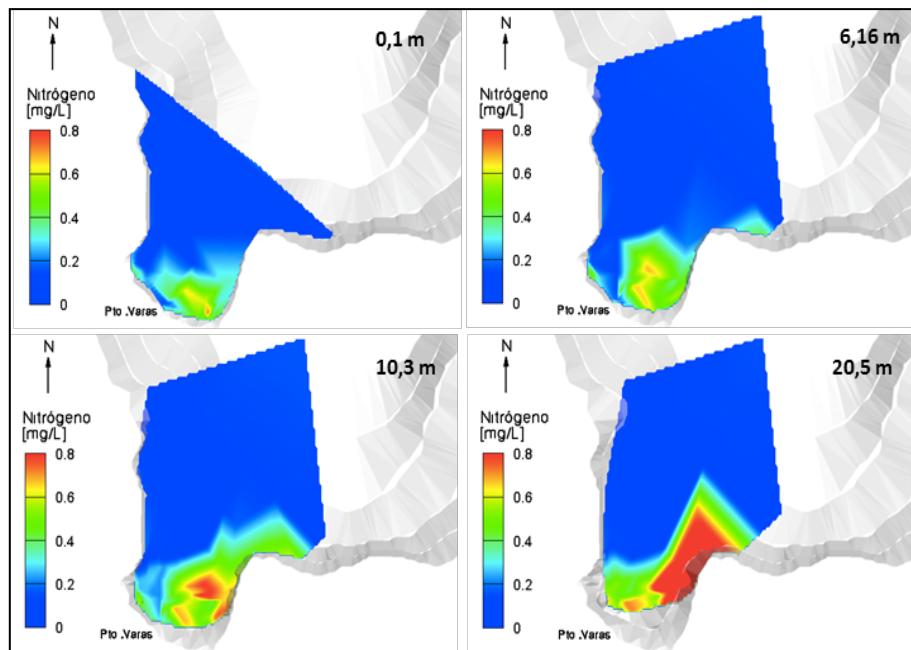
En la Figura 7 y Figura 8 se presentan los resultados de la interpolación tridimensional realizada en base a ambas campañas, para la concentración de nitrógeno a modo de ejemplo (la explicación del modelo se presenta en el Anexo B). Bajo el escenario de aliviaderos activos, es posible distinguir la influencia de la descarga del aliviadero de tormenta de la PEAS Puerto Chico y, en menor grado, la del aliviadero de la PEAS Santa Rosa (Figura 7). Esta diferencia se explica ya que la calidad del agua descargada desde ambos aliviaderos difiere (Anexo A). En PEAS Santa Rosa, la concentración de nitrógeno es menor (0,19 mg/L vs 0,86 mg/L; Tabla 13) y consecuentemente se observa una zona de influencia más acotada (Figura 7). En el área de influencia de ambas PEAS, la concentración de nitrógeno aumenta a mayores profundidades lo que podría ser indicativo de un eventual proceso de sedimentación, el cual, como se ha mencionado anteriormente, no ha sido evidenciado en los sedimentos del sector.

A partir de las plumas observadas en las campañas a terreno de SGS, se delimitó un área aproximada de influencia directa de las descargas (Figura 9), la cual abarcaría las estaciones DGA y DIRECTEMAR analizadas en la sección 4.1.1. Como se explica en los próximos párrafos y en la Sección 4.2.2, **esta área también corresponde al área de influencia de otras descargas de terceros existentes en la zona** (para más detalle ver Figura 17 y Figura 18).

La influencia de otras descargas puede evidenciarse por ejemplo en los resultados obtenidos en ambas campañas de terreno, en el punto de medición denominado 1500 mC2, cuya ubicación se presenta en el Anexo A (Figura 1 del informe de monitoreo). Éste presentó la mayor concentración de nitrógeno en ambas campañas (1,62 mg/L y 1,42 mg/L, respectivamente, ver Anexo A); y se encuentra ubicado a más de 1,5 km de distancia del aliviadero más cercano (al noreste de PEAS Puerto Chico). **Esto evidencia la existencia de fuentes ajenas a ESSAL que descargan nitrógeno a la bahía.**

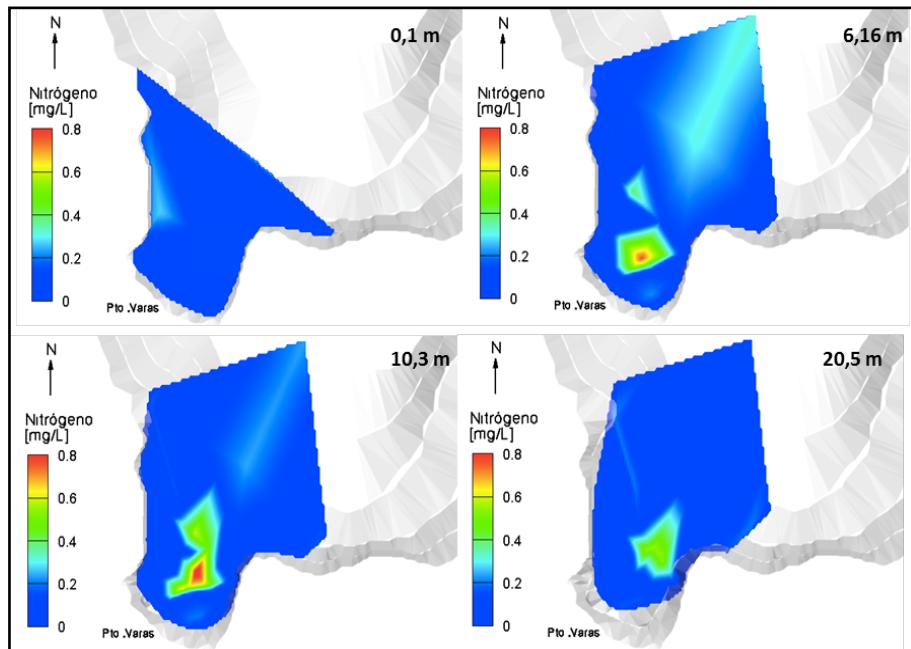
La concentración media de nitrógeno en el área de influencia fue mayor en la campaña con los aliviaderos de tormenta activos (0,39 mg/L vs 0,18 mg/L, respectivamente; Tabla 9). Sin embargo, al momento de realizar esta campaña distintas descargas irregulares presentes en la bahía también se encontraron activas, por lo que no es posible atribuir este aumento exclusivamente a las descargas de ESSAL.

**Figura 7. Distribución espacial de la concentración de nitrógeno en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas activas. Vista en planta.**



Fuente: Elaboración propia en base a campaña 1 de SGS.

**Figura 8. Distribución espacial de la concentración de nitrógeno en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas inactivas. Vista en planta.**



Fuente: Elaboración propia en base a campaña 2 de SGS.

**Figura 9. Límite aproximado del área de influencia de las descargas de ESSAL.**



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9. Calidad media del agua en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017.**

Parámetro	Campaña 1	Campaña 2	Diferencia (%)
Amonio (mg/L)	0,038	0,04	-6,0
Clorofila	1,04	0,50	109
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	18,2	5,14	255
Conductividad	0,077	0,060	28
DBO5 (mg/L)	2,0	2,016	-0,8
DQO (mg/L)	2,77	2,99	-7,6
Fosfato (mg/L)	0,06	0,060	0,0
Fósforo (mg/L)	0,01	0,017	-39
Nitrato (mg/L)	0,71	0,20	257
Nitrito (mg/L)	0,020	0,020	0,0
Nitrógeno total (mg/L)	0,39	0,18	111
NTK (mg/L)	0,26	0,15	76

Parámetro	Campaña 1	Campaña 2	Diferencia (%)
Oxígeno disuelto (mg/L)	8,59	11,2	-23
pH	7,87	7,84	0,4
Saturación O <sub>2</sub> (%)	86,3	96,0	-10
Sílice (mg/L)	0,62	0,59	4,8
Turbiedad (NTU)	1,14	0,91	25

Fuente: Elaboración propia en base al promedio de la grilla de interpolación (Anexo B) a partir de los resultados de las campañas de SGS. Campaña 1: aliviaderos de tormenta activos (11 y 12 de octubre). Campaña 2: aliviaderos de tormenta inactivos (15 y 16 de octubre). La diferencia porcentual se calculó respecto a la campaña 2. Los valores bajo el límite de detección se consideraron en el límite de detección en la interpolación.

El aporte de fósforo desde las PEAS fue muy bajo (concentraciones de 0,02 y 0,04 mg/L para PEAS Santa Rosa y Puerto Chico, respectivamente, Anexo A). Como es esperable, en el área aledaña a las descargas de ESSAL se observa sólo una leve pluma superficial (en PEAS Puerto Chico). Sin embargo, a mayores profundidades ésta desaparece (Figura 10). Se observa la existencia de otro aporte de fósforo en la zona central del litoral, cuya influencia se evidencia tanto en la superficie como a mayores profundidades. Esto se condice con lo medido en los sedimentos ubicados en ese sector, que presentan una mayor concentración de fósforo al compararlos con el resto de la bahía, como se presenta más adelante (Figura 14).

En la campaña 2, es decir con las descargas de ESSAL inactivas, la concentración de fósforo fue un 70% mayor (Tabla 10), observándose también una pluma proveniente desde la zona central del litoral (Figura 11). Esto sugiere que el aporte de fósforo desde fuentes ajenas a ESSAL es significativo y relevante.

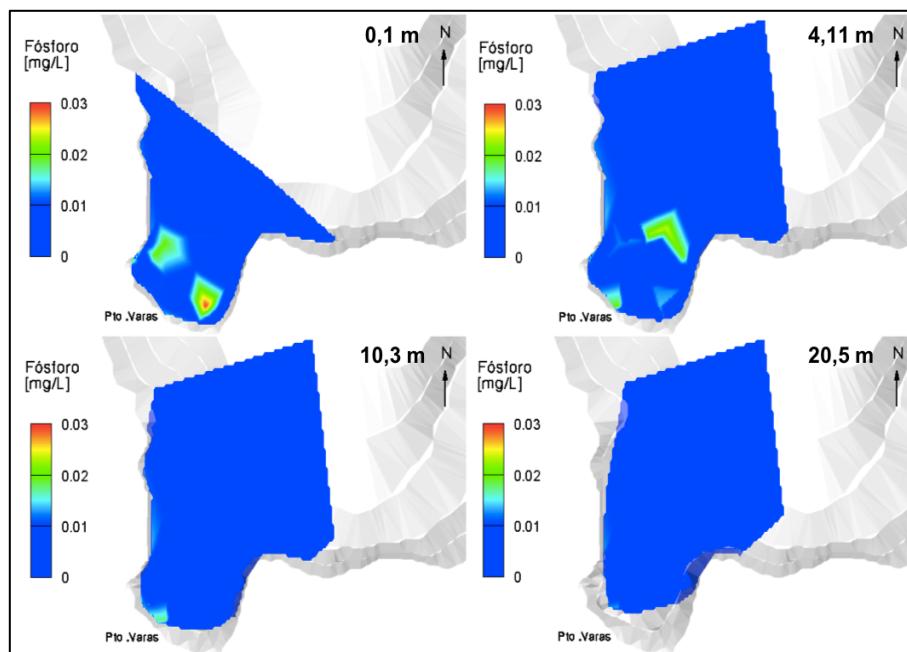
Si bien como parte de este análisis se definió un área aproximada de influencia de las descargas (Figura 9), se debe tener en consideración lo siguiente:

- Existen descargas ajenas a ESSAL en el área de influencia delimitada (Figura 9), por lo que los efectos observados en ella no necesariamente son provocados por las descargas de los aliviaderos.
- El área de influencia de las descargas depende de la corriente, cuyo principal forzante es el viento (Innovex, 2017). Así, ésta no se comportará de la misma forma en las diferentes estaciones del año, dado que los vientos

preponderantes cambian. Esto se puede ver reflejado en la Figura 12, donde se presentan los resultados del estudio de corrientes lagrangianas realizado por la empresa Innovex (2017), resultados que son corroborados por el estudio de corrientes eulerianas (Anexo C).

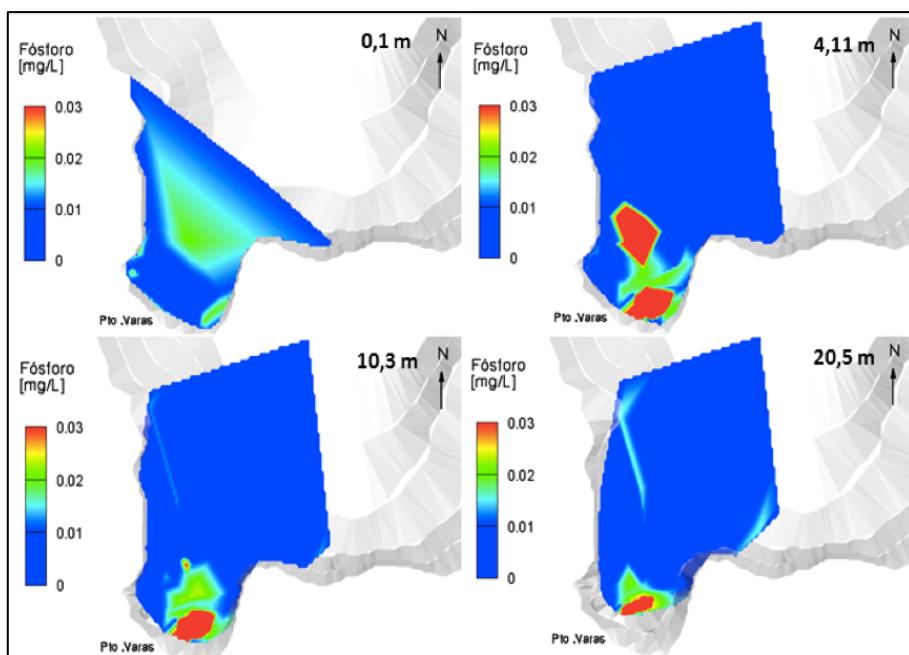
- La bahía de Puerto Varas interactúa con el resto del lago, existiendo entradas y salidas de agua que dependen de la dirección y magnitud del viento (Figura 12). Según los resultados obtenidos de calidad del agua (SGS, 2017) y de los estudios de corrientes (Innovex, 2017; Anexo C), probablemente las corrientes existentes reducen el tiempo de residencia de los distintos elementos en la bahía. La calidad del agua en la bahía en sólo 5 días reduce su concentración de nitrógeno significativamente (250%; Tabla 9), lo que puede explicarse porque ésta se renueva, el nitrógeno difunda, reaccione (por ej. desnitrificación) y/o se deposite en el fondo del lago. Como se mencionó, y analiza más adelante (Sección 4.1.2 b)), no se observa una acumulación de nitrógeno en los sedimentos lo que descartaría esta opción como proceso significativo de remoción a largo plazo.

**Figura 10. Distribución espacial de la concentración de fósforo en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas activas.**



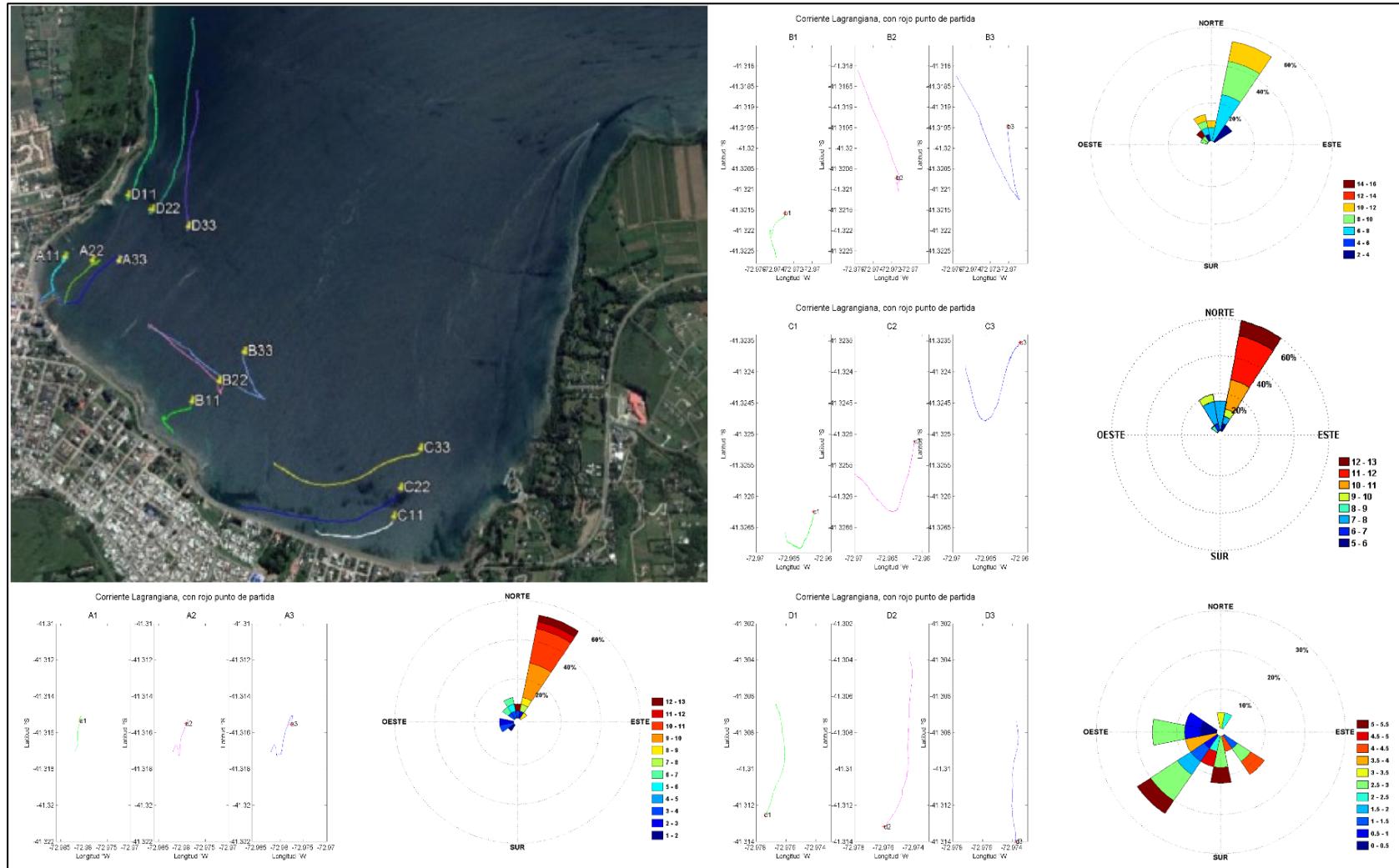
Fuente: Elaboración propia en base a campaña 2 de ESSAL.

**Figura 11. Distribución espacial de la concentración de fósforo en la bahía de Puerto Varas a distintas profundidades, bajo el escenario de descargas inactivas. Vista en planta.**



Fuente: Elaboración propia en base a campaña 1 de ESSAL.

Figura 12. Resultados del estudio de corrientes lagrangianas en la bahía de Puerto Varas (octubre de 2017).



Fuente: Innovex, 2017. Se presentan las trayectorias de los 12 derivadores lagrangianos y su relación con la dirección del viento.

b) Distribución espacial de la calidad del agua

En complemento al análisis efectuado en la sección anterior para los parámetros fósforo y nitrógeno, la distribución espacial del pH, la concentración de oxígeno disuelto, coliformes fecales y clorofila en la bahía de Puerto Varas en las campañas 1 y 2 (SGS, 2017) se presenta en la Figura 13, para algunas profundidades representativas, y en el Anexo B para todas ellas.

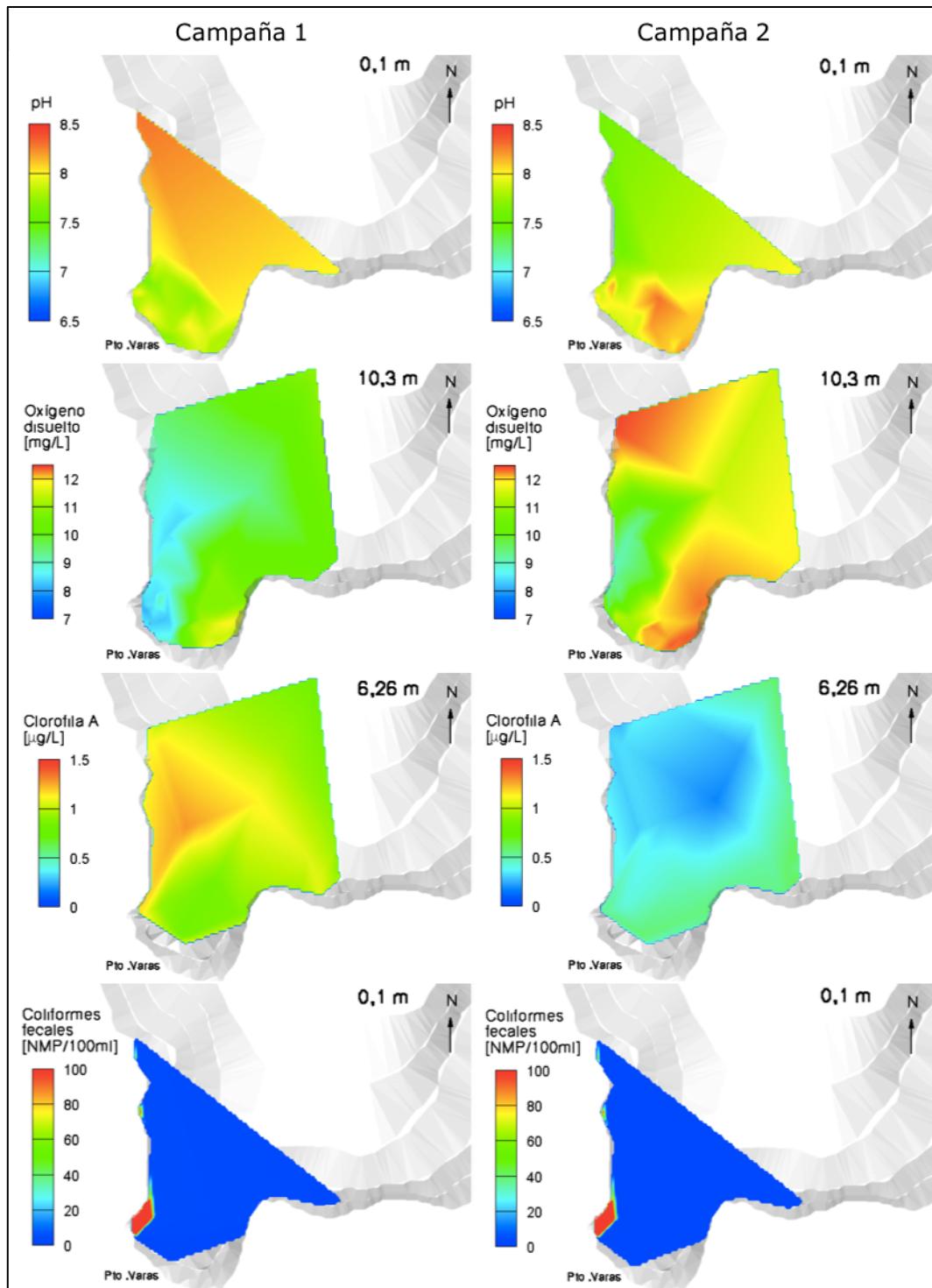
Como se observa, los parámetros presentan patrones distintos de distribución espacial, lo que puede deberse a las diferencias en la calidad del agua entre las diferentes descargas presentes en la bahía (Tabla 13). De todas formas, en la campaña 1 todos los parámetros en el área de influencia delimitada presentan niveles diferentes al de fuera de ella (Figura 13).

El pH presenta diferencias entre el área de influencia y fuera de ella en ambas campañas. Es menor en el área de influencia en la situación con aliviaderos activos, y mayor en la situación de aliviaderos inactivos (Figura 13). Esta diferencia es clara en los estratos más someros y deja de ser significativa para estratos más profundos (Anexo B). Esto indica que en ambas campañas existen descargas a nivel superficial que modifican la calidad del agua.

La concentración de oxígeno disuelto es en ambas campañas menor en la zona oeste que en la zona este a todas las profundidades y no se observa una superposición con las plumas de descarga de las PEAS (Figura 13). El porcentaje de oxígeno disuelto presenta un comportamiento similar, lo que indica un consumo de oxígeno en la zona oeste y no una disminución debido a un cambio en su solubilidad. En ambas campañas existen zonas que presentan concentraciones sobre la saturación (>100%; Anexo A), lo que indica una posible producción de oxígeno.

La concentración de clorofila es mayor en el sector oeste y en la zona de influencia de las descargas cuando los aliviaderos están activos. Cuando los aliviaderos se encontraron inactivos esta situación se invierte.

**Figura 13. Distribución espacial del pH, concentración de oxígeno disuelto, clorofila y coliformes fecales en la bahía de Puerto Varas. Vista en planta.**



Fuente: Elaboración propia en base a resultados de las campañas 1 y 2 de SGS. Se presenta sólo una profundidad representativa para cada parámetro.

La concentración de CF presenta el mismo comportamiento en ambas campañas. Ésta es mayor al límite de detección sólo en el sector aledaño a la PEAS Santa Rosa, pero su distribución espacial no puede ser explicada por la descarga de esta PEAS. El agua en la bahía alcanza concentraciones mayores a la de las del aliviadero (700 NMP/100 mL vs 140 NMP/100 mL, respectivamente). Esta pluma se explicaría entonces por la existencia de otras descargas en el sector que presenten alta concentración de CF (ver Sección 4.2.2).

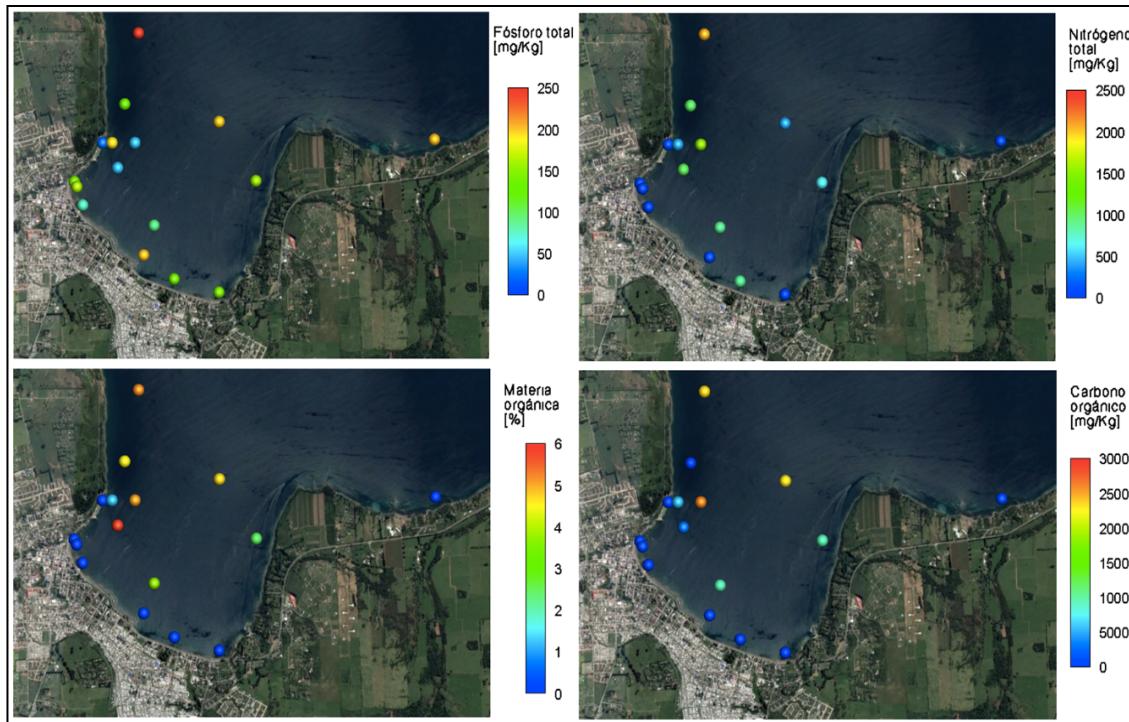
En conclusión, el análisis indica que existen diferencias entre el área de influencia de las descargas con la zona fuera de ella bajo la situación de aliviaderos activos para algunos parámetros. Cabe recordar que en esta situación también se encuentran activas descargas irregulares de terceros incidiendo en la calidad del agua. Por otra parte, es posible concluir que existen diferentes descargas a la bahía de Puerto Varas, tanto de ESSAL como de terceros, que modifican la calidad del agua. Finalmente, dado que la calidad el agua cambia en la campaña 2, se puede deducir que existe una mezcla/renovación del agua, introducción de nuevas fuentes y/o posibles reacciones que se dan en poco tiempo, de acuerdo a los cinco días transcurridos entre campañas y las diferencias observadas.

c) Distribución espacial de la calidad de los sedimentos

La distribución espacial de la concentración de MO, carbono orgánico total, nitrógeno y fósforo en los sedimentos analizados por SGS (2017) se presentan en la Figura 14. Los puntos más cercanos a las descargas presentaron menores concentraciones que aquéllos más alejados de ellas, por lo que no se evidencia acumulación en esas zonas. Sin embargo, los puntos con mayores concentraciones se encuentran dispuestos en una pluma diagonal desde Puerto Chico en dirección noroeste.

Los niveles de MO, fósforo y nitrógeno determinados en todos los puntos se encuentran dentro del rango histórico registrado en la estación de la DIRECTEMAR (Figura 15). El promedio de las concentraciones medido en octubre de 2017 en los sedimentos de la bahía no supera al histórico para analito alguno (fósforo= 148 vs 139 mg/L, nitrógeno= 604 vs 590 mg/L y 3,16 vs 1,98 % de MO, respectivamente).

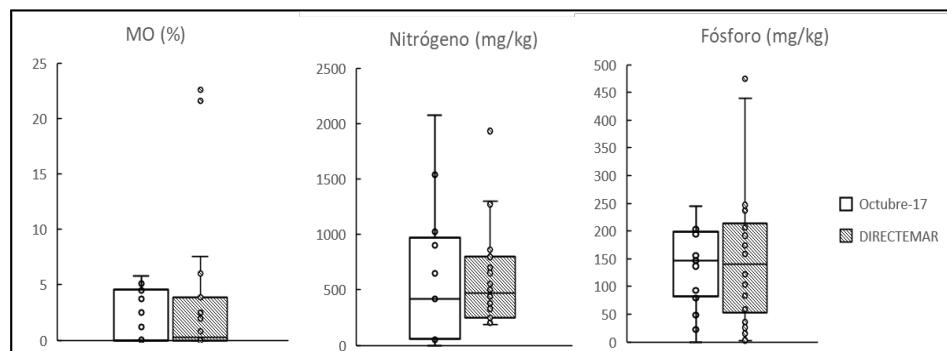
**Figura 14. Distribución espacial de la concentración de fósforo, nitrógeno, materia orgánica y carbono orgánico total en los sedimentos de la bahía de Puerto Varas (octubre de 2017).**



Fuente: Elaboración propia en base a campaña 2 de SGS (2017).

Los análisis de distribución espacial y los análisis comparativos de la composición de los sedimentos con registros históricos indican que no existe acumulación de nitrógeno, fósforo o materia orgánica en los sedimentos de la bahía de Puerto Varas.

**Figura 15. Comparación de la composición de los sedimentos muestreados en octubre de 2017 con los registros históricos de la DIRECTEMAR.**



Fuente: Elaboración propia en base a registros de la DIRECTEMAR (2000 – 2011) y campaña 2 de SGS (octubre de 2017).

#### **4.1.3 Calidad del agua en la bahía de Puerto Varas: comparación con normas y clasificación del nivel trófico**

Los valores promedio de los distintos parámetros evaluados en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017 se presentan en la Tabla 10. Están calculados sobre la grilla de interpolación, descrita en el Anexo B, y se presentan como rangos dentro de los que se puede encontrar cada parámetro. El límite superior del rango se calculó asumiendo que aquellos valores reportados bajo el límite de detección son iguales al límite de detección, y el inferior considerando los valores reportados bajo el límite de detección como cero. Todos se calcularon considerando el área de influencia de las descargas (Figura 9) para la campaña efectuada con los aliviaderos inactivos (campaña 2). Se eligió esta campaña por ser más representativa del estado del lago.

La concentración media de CF fue baja (entre 3,7 y 5,1 NMP/100 ml; Tabla 10), cumpliendo los requisitos de calidad del agua establecidos en la NCh 1.333 para recreación con contacto directo (1.000 NMP/100 mL). Esto ocurre también en la campaña 1 (18 NMP/100 mL; Tabla 9) y en todos los puntos analizados en ambas campañas (Anexo A). Lo que indica que no hay efectos en este sentido. Este parámetro no está contemplado en la NSCA por lo que no es posible contrastarlo con esa norma.

Los niveles de DQO en el agua fueron los esperables para el sector y se encontraron bajo los límites establecidos en la NSCA (entre 2,63 y 2,99 mg/L; Tabla 10). Como se indicó anteriormente, el contraste con la NSCA del lago Llanquihue se utiliza de manera referencial en este análisis y no pretende evaluar su cumplimiento. En la campaña 1 tampoco se superó el límite para DQO y los sedimentos contienen concentraciones esperables para lagos oligotróficos (Figura 14). Por otra parte, el OD, indicador de un eventual efecto ambiental de la descomposición de MO, se distribuye homogéneamente en la columna de agua y cumple lo establecido en la NSCA (Tabla 10), lo que indica que no hay procesos de degradación de MO que se encuentren provocando anaerobiosis en el fondo del lago (ver Anexo B y Anexo C). Todo esto sugiere que el aporte de MO desde las descargas no provocaría un efecto ambiental en la bahía.

La mayoría de los demás analitos en la campaña 2 se encontraron dentro de los límites establecidos en la NSCA: clorofila-a, sílice, pH, OD, porcentaje de saturación

de oxígeno, conductividad y turbiedad (Tabla 10). Sólo dos parámetros lo superan en algunos puntos y sólo bajo el escenario más conservador: nitrógeno y fósforo.

En cuanto al estado trófico, **el principal indicador, la concentración de clorofila-a, se clasifica dentro del rango oligotrófico** al igual que la concentración de nitrógeno total. El fósforo en cambio se encuentra dentro del rango mesotrófico (Tabla 10), lo que se debería a los aportes de otras fuentes existentes en el sector (ver sección 4.2.2).

**Tabla 10. Calidad media del agua en el área de influencia de las descargas, en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017.**

Parámetro	Rango	Categoría <sup>1</sup>	NSCA <sup>2</sup>
Clorofila (µg/L)	0,50	Oligotrófico	Sí
Coliformes fecales (NMP/100 mL)	3,74 - 5,14	-	-
Conductividad	0,06	-	Sí
DBO5 (mg/L)	0,12 - 2,02	-	-
DQO (mg/L)	2,63 - 2,99	-	Sí
Fosfato (mg/L)	0 - 0,06	-	-
Fósforo (mg/L)	0,012 - 0,017	Mesotrófico	NO
Nitrato (mg/L)	0,185 - 0,199	-	-
Nitrito (mg/L)	0 - 0,020	-	-
Nitrógeno total (mg/L)	0,07 - 0,18	Oligotrófico	NO
NTK (mg/L)	0,025 - 0,15	-	-
Oxígeno disuelto (mg/L)	11,2	-	Sí
pH	7,84	-	Sí
Saturación O2 (%)	96,0	-	Sí
Sílice (mg/L)	0,52 - 0,56	-	Sí
Temperatura (°C)	8,66	-	-

Parámetro	Rango	Categoría <sup>1</sup>	NSCA <sup>2</sup>
Turbiedad (NTU)	0,91	-	Sí

Fuente: Elaboración propia en base a la campaña 2 de SGS (2017). Se presenta el rango en el que se puede encontrar cada parámetro. El límite superior considera los valores reportados bajo el límite de detección en el límite de detección, y el inferior considera los valores reportados bajo el límite de detección, iguales a cero. <sup>1</sup>Categoría de clasificación según Smith et al., 1999. <sup>2</sup>NSCA: parámetro se encuentra dentro de los límites establecidos en el Dto. 122/2011 del MINSEGPRES para el área de vigilancia de Puerto Varas.

## 4.2 Análisis de las posibles fuentes

En esta sección se caracterizan las descargas de distintas fuentes que existen en el lago Llanquihue y se discute su eventual efecto sobre él. Primero se caracterizan las descargas desde los aliviaderos de tormenta y luego las descargas de otros proyectos/fuentes presentes.

### 4.2.1 Descargas de aguas mixtas desde los aliviaderos de tormenta de ESSAL

A continuación, se caracterizan las descargas de los aliviaderos de tormenta de ESSAL y se presenta una estimación de la carga anual de nutrientes aportada al lago Llanquihue.

- Características de las descargas

Los aliviaderos de tormenta de ESSAL descargan aguas mixtas cuya calidad y caudal depende de las precipitaciones. Asimismo, su duración también se encuentra ligada a ellas.

Según los resultados de los monitoreos realizados por ESSAL, las aguas mixtas poseen altas concentraciones de  $\text{DBO}_5$ , NT, PT y SST (Tabla 11). Con respecto a la duración de las descargas, en la Tabla 12 se presenta el número promedio de días descargados al año y en el Anexo D se presentan las fechas de activación de las descargas. La duración estimada fue provista por ESSAL a partir de un análisis de la superación del nivel de las sentinelas de las PEAS.

**Tabla 11. Calidad del agua de las descargas desde los aliviaderos de tormenta de las PEAS.**

Parámetro	PEAS Santa Rosa				PEAS Puerto Chico			
	Promedio	DE	N	Máx.	Promedio	DE	N	Máx.
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	82,4	49,3	47	196	133	46	29	236
DQO (mg/L)	199	135	50	523	314	122	33	640
Fosforo (mg/L)	2,42	1,57	43	7,4	3,96	1,48	25	6,18
Nitrato (mg N-NO <sub>3</sub> -/L)	0,83	0,39	9	1,3	0,516	0,22	3	0,72
Nitrógeno amoniacal (mg-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L)	19,3	12,7	46	48,8	35,0	11,8	28	63,5
Nitrógeno Total (mg/L)	36,5	15,3	24	68,4	41,9	18,3	24	71,2
NTK (mg/L)	36,1	15,6	24	68,4	41,8	18,3	24	71,2
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1,97	2,41	51	10	2,71	1,71	33	8
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	91,7	71,7	51	352	139	67,7	33	384

Fuente: Elaboración propia a partir de monitoreos realizados por ESSAL (12-08-2017 al 16-10-2017). DE: desviación estándar, máx.: valor máximo alcanzado; n: número de datos.

- Carga de contaminantes aportada por las descargas

Para determinar el aporte de nutrientes de las descargas de ESSAL, se estimó su carga anual. Ya que no se cuenta con registros del caudal descargado, se consideró el peor escenario: **cada vez que se activó la descarga, la totalidad del caudal de aguas servidas que ingresaría a la PEAS es descargado al lago y ninguna parte de él es elevada**. Este supuesto es muy conservador, y en efecto no ha ocurrido en la realidad, ya que la PEAS Santa Rosa normalmente eleva 120 l/s, lo que continúa efectuándose cuando los aliviaderos se encuentran activos.

La PEAS Puerto Chico por su parte eleva 60 l/s independiente de si se activa o no la descarga.

Bajo esta aproximación conservadora, en la Tabla 12 se presenta la estimación de las cargas anuales máximas que podrían ser aportadas por los aliviaderos de tormenta al lago Llanquihue.

**Tabla 12. Cálculo de la carga anual máxima de nutrientes aportada por los aliviaderos de tormenta de ESSAL al lago Llanquihue.**

	Puerto Chico	Santa Rosa
Descarga (días/año)	9,45	96,3
Caudal de AS promedio (m <sup>3</sup> /día) <sup>1</sup>	1.320	4.310
Concentración promedio en AS (P kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,01	0,01
Concentración promedio en AS (DQO kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,5	0,5
Concentración promedio en AS (DBO kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,25	0,25
Concentración promedio en AS (N kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	0,065	0,065
Carga máxima anual (ton P/año)	0,120	4,15
<b>Carga máxima tota anual (ton P/año)</b>	<b>4,28</b>	
Carga máxima anual (ton DQO/año)	6,22	208
<b>Carga máxima tota anual (ton DQO/año)</b>	<b>214</b>	
Carga máxima anual (ton DBO/año)	3,11	91,4
<b>Carga máxima tota anual (ton DBO/año)</b>	<b>107</b>	
Carga máxima anual (ton N/año)	0,81	16,6
<b>Carga máxima tota anual (ton N/año)</b>	<b>27,8</b>	

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por ESSAL. <sup>1</sup>Caudal promedio diario de aguas servidas (AS) que ingresan a cada PEAS calculado a partir del volumen mensual de aguas servidas facturado (información entregada por ESSAL). <sup>2</sup>Concentración característica aguas servidas domiciliarias (Tabla 1).

#### 4.2.2 Otras descargas

Adicionalmente a los aliviaderos de tormenta de ESSAL, existen otras fuentes que descargan al lago Llanquihue en el litoral de Puerto Varas. Se han realizado diversos estudios por parte de ESSAL y POCH, en los que se han identificado y caracterizado

las descargas de terceros. Estos estudios se presentan en el Anexo E y los principales hallazgos se describen a continuación.

En noviembre del año 2010, ESSAL realizó un estudio para identificar las descargas presentes en la zona litoral de Puerto Varas. Mediante una inspección visual se encontraron un total de 29 descargas de terceros, que en general fueron clasificadas como descargas de esteros y colectores de aguas lluvias. Dieciséis de las descargas identificadas se encontraron activas, con flujos variables, desde pequeños afloramientos hasta caudales significativos y probablemente permanentes. Once descargas presentaron niveles de CF que superan lo establecido en el DS 90/2000 (1000 NMP/100 ml), llegando a los 160.000 NMP/100 ml. En tres de ellas se observó además la presencia de algas lo que indica un aporte de nutrientes (Figura 16). **En conjunto, estos resultados mostraron que existe un aporte permanente de CF y nutrientes al litoral de Puerto Varas desde fuentes ajenas a ESSAL.**

**Figura 16. Descargas con presencia de algas identificadas por ESSAL (2010).**



Fuente: ESSAL, 2010.

En enero del año 2012, POCH estudió las descargas de terceros presentes en el sector aledaño a la PEAS Santa Rosa. Se encontró que sólo en ese sector existían al menos otras tres descargas que también aportaban CF y materia orgánica. Éstas lo realizarían en forma permanente durante el año, incluso en ausencia absoluta de precipitaciones. Se planteó que el origen de los CF de las descargas identificadas serían aguas servidas no regularizadas o clandestinas. Ellas serían vertidas a cursos de agua canalizados, así como también a infiltraciones de aguas contaminadas originadas en pozos negros (POCH, 2012).

En marzo de 2017 POCH realizó un nuevo catastro, identificando 18 descargas (Figura 17). Siete de ellas fueron caracterizadas en aquella ocasión, y luego, en

octubre de 2017, por SGS (Tabla 13). En las tres campañas se observó una alta concentración de CF (hasta 160.000 NMP/100 mL), superando lo establecido en el DS 90/2000 (1.000 NMP/100 mL). Algunas descargas también presentaron elevadas concentraciones de nitrógeno (ej. 8,7 mg/L en P17), aunque no superaron la norma. La concentración de fósforo en cambio sí superó el límite en una de las descargas, mostrando una alta concentración en P17.

**Figura 17. Ubicación de las descargas identificadas por POCH (2017) y analizadas por SGS (2017) en el litoral de Puerto Varas.**



Fuente: Elaboración propia en base a POCH, 2017.

El estudio de las descargas irregulares realizado por POCH en marzo de 2017 concluyó que: (a) las concentraciones de CF detectados en el borde costero del lago al momento de la prospección no son consecuencia directa de la descarga del aliviadero de tormenta del PEAS Santa Rosa; (b) los efectos de contaminación por nutrientes y CF en el borde costero del lago no serían producto de una sola fuente emisora, siendo generada por un conjunto de descargas puntuales; y (c) el punto con mayores evidencias de impacto se relaciona con la estación P17, en donde se detectaron altas concentraciones de coliformes fecales, nitrógeno y

fósforo, lo que fue evidenciado además por la predominancia de especies de flora hidrófila tolerante a altos niveles de nitrógeno.

**Figura 18. Registros fotográficos de tres descargas identificadas por POCH (marzo de 2017) en el litoral de Puerto Varas.**



Fuente: POCH, 2017.

**Tabla 13. Calidad del agua de las descargas irregulares identificadas en la zona litoral de Puerto Varas y de las descargas de los aliviaderos de ESSAL.**

Descarga	Campaña	Nitrógeno (mg/L)	Fósforo (mg/L)	CF (NMP/100 ml)
P6	POCH	2,5	<0,06	350
	SGS - 1	1,92	0,09	900
	SGS - 2	1,82	0,08	3.000
P12	POCH	3	<0,06	2.800
	SGS - 1	1,9	0,1	160.000
	SGS - 2	1,56	0,01	70.000
P15	POCH	4,6	0,12	>16.000

<b>Descarga</b>	<b>Campaña</b>	<b>Nitrógeno (mg/L)</b>	<b>Fósforo (mg/L)</b>	<b>CF (NMP/100 ml)</b>
	SGS - 1	2,41	0,05	16.000
	SGS - 2	2,05	0,02	70.000
P17	POCH	8,7	5,13	>16.000
	SGS - 1	4,29	0,11	300
	SGS - 2	3,57	0,03	16.000
P23	POCH	2,1	<0,06	130
	SGS - 1	1,97	0,38	5000
	SGS - 2	1,8	<0,01	24.000
P24	POCH	2,7	<0,06	>16.000
	SGS - 1	0,54	0,02	280
	SGS - 2	0,43	<0,01	1.100
PEAS Santa Rosa	SGS - 1	0,19	0,02	140
PEAS Puerto Chico	SGS - 1	0,86	0,04	1.700

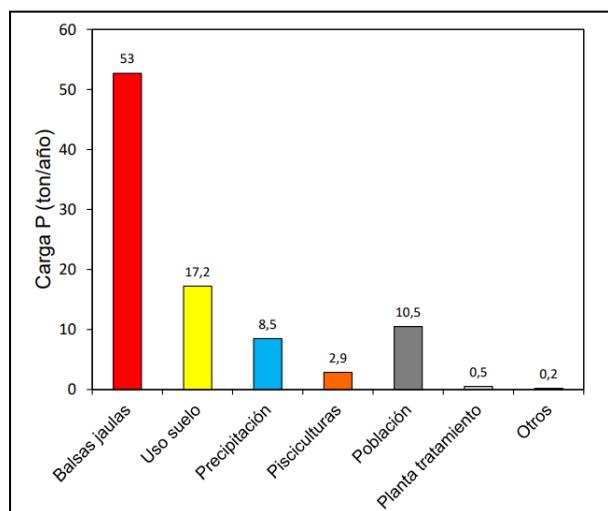
Fuente: POCH, 2017 y SGS, 2017 (campañas 1 y 2).

En conjunto, los resultados de todos los estudios realizados en la zona litoral de Puerto Varas evidencian que existen descargas irregulares, muchas de las cuales serían permanentes y con altas concentraciones de CF, nitrógeno y fósforo. Esto indica que existe un aporte continuo de nutrientes y CF en el litoral de Puerto Varas desde fuentes ajenas a ESSAL. Por lo tanto, es posible concluir que potenciales efectos que pudieran llegar a observarse en la calidad del agua de la bahía, obedecerían a diversas fuentes existentes en el borde costero. Esto es corroborado por los resultados obtenidos en las campañas 1 y 2 de SGS (2017) analizados en la Sección 4.1.2. a).

Además de las fuentes irregulares descritas anteriormente, existen otros proyectos y fuentes que efectúan descargas al lago Llanquihue que representan una carga másica significativamente mayor a la potencialmente aportada por ESSAL. Un estudio realizado recientemente por el IFOP (2017), caracterizó estas descargas y estimó la carga de fósforo aportado por cada proyecto o actividad (Tabla 14). Como se puede ver en la Figura 19, el mayor aporte de fósforo (55%) corresponde

a las balsas jaulas de salmones presentes en el lago, cuya ubicación se presenta en la Figura 20.

**Figura 19. Carga de fósforo anual según actividad.**



Fuente: Figura 175 del informe IFOP, 2017.

En el estudio del IFOP (2017) también se determinó la carga crítica (permisible) para mantener el lago en un estado oligotrófico (no superar los 10 µg/L de fósforo total). Según los cálculos efectuados, la carga crítica total al lago Llanquihue sería 191 ton/año.

Al comparar la carga máxima de fósforo estimada para los aliviaderos de tormenta de ESSAL (Tabla 12) con todos los aportes identificados por IFOP (Tabla 14), puede observarse que ésta representa sólo un 4,3% del aporte total y un 2,2 % de la carga crítica. Cabe notar que este aporte está sobreestimado ya que el cálculo realizado por IFOP no incluye descargas no regularizadas (como las identificadas por POCH), así como tampoco situaciones irregulares que podrían disminuir más aún este porcentaje. Por ejemplo, en Puerto Octay la PTAS de la Municipalidad no opera de manera regular y descarga directamente al lago; y en esa misma localidad, la SMA recientemente formuló cargos a la empresa Lácteos Puerto Octay (Res. Ex. N°1/ROL F-057-2017) debido al rebalse de residuos industriales líquidos sin tratamiento y su escurrimiento hacia las aguas del Lago Llanquihue.

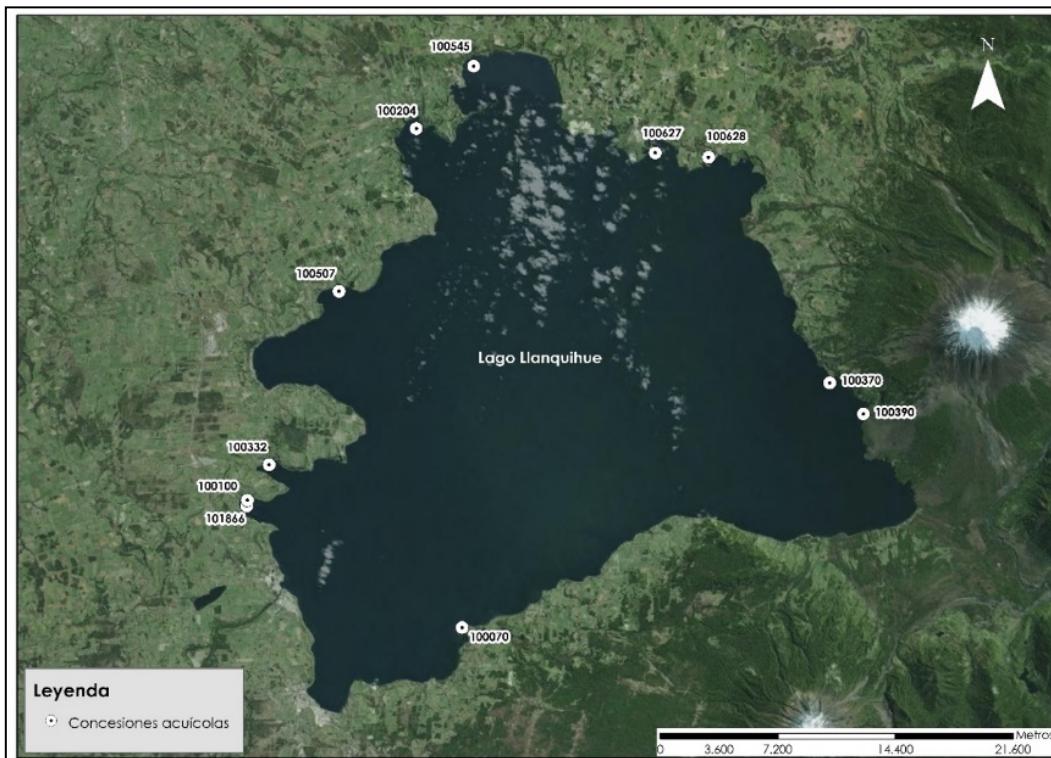
**Tabla 14. Carga de fósforo, nitrógeno, y carbono orgánico descargada al lago Llanquihue según actividad.**

Fuente	Carga de fósforo (ton-P/año)	Carga de nitrógeno (ton-N/año)	Carga de carbono orgánico (ton-C/año)
Prosecor Ltda.	0,0	S/I	S/I
Lácteos Pt. Octay	0,2	S/I	S/I
Novartis Chile S.A.	0,0	S/I	S/I
Planta tratamiento Pt. Octay	0,5	S/I	S/I
Pingüino Ltda.	0,004	S/I	S/I
Población	10,48	52,4 <sup>1</sup>	201,9 <sup>2</sup>
MARINE HARVEST 1	0,29	S/I	S/I
MARINE HARVEST 2	0	S/I	S/I
MARINE HARVEST 3	0	S/I	S/I
MARINE HARVEST 4	0	S/I	S/I
Salmones Llanquihue	2,53	21,9 <sup>3</sup>	4,79 <sup>2</sup>
Salmones Multiexport Pt. Fonck	0,032	S/I	S/I
Aguas Claras	0	S/I	S/I
Fiordo Blanco	0	S/I	S/I
Balsas jaulas (2002- 2016)	52,7	283 <sup>4</sup>	2250 <sup>4</sup>
Afluentes / uso de suelo	17,2	S/I	S/I
Precipitación (2016)	8,5	48,2 <sup>5</sup>	S/I
ESSAL (aliviaderos de tormenta)	4,28	27,8	54,9 <sup>2</sup>
Carga total	98,9	444	2.555
<b>% ESSAL</b>	<b>4,3</b>	<b>6,3</b>	<b>2,2</b>

Fuente: La carga de fósforo aportada por cada fuente se obtuvo del informe IFOP, 2017, a excepción de la carga aportada por ESSAL. Los demás valores se calcularon según:  
<sup>1</sup>Conversión a partir de la relación entre N, DQO y P para aguas servidas (Metcalf-Eddy, 1991); <sup>2</sup>Conversión de DQO a carbono orgánico según el factor para aguas residuales municipales propuesta por Dubber et al. (2010), para el caso de Salmones Llanquihue se consideró la conversión propuesta para efluentes; <sup>3</sup>Cálculo según promedios de caudal y concentraciones de los autocontroles reportados por DS90/2000 (SMA, 2017).

Concentración de DQO se consideró igual a la de DBO<sub>5</sub> para Salmones Llanquihue, debido a la falta de medición; <sup>4</sup>Cálculo según conversión de Wang et al. (2012); y <sup>5</sup>Cálculo a partir de la concentración de nitrógeno en las precipitaciones (Godoy et al, 2001).

**Figura 20. Ubicación de concesiones acuícolas en el lago Llanquihue.**



Fuente: Elaboración propia en base a fotointerpretación de Figura 2 del informe IFOP, 2017.

El aporte de nitrógeno de las descargas de ESSAL representaría un 6,3% del total (Tabla 14). Al igual que para el fósforo, este aporte está sobreestimado ya que no se cuenta con información para todas las fuentes que descargan nitrógeno al lago; y, además, como se mencionó anteriormente, la carga aportada por ESSAL considera supuestos conservadores que la sobreestiman.

Al comparar los aportes de ESSAL respecto al generado por los centros de cultivo existentes en el lago Llanquihue, es posible señalar que sólo el rubro pesquero aporta una carga contaminante de nitrógeno y fósforo más de 10 veces mayor a la generada por ESSAL (Tabla 12). **Esto se traduce en que, en su conjunto, los centros de engorda aportan en menos de 1,5 meses la carga total de nitrógeno y fósforo descargada anualmente por ESSAL.**

El aporte de carbono orgánico de las descargas de ESSAL representaría sólo un 2,2% del total. Este aporte también sería sobreestimado ya que no se cuenta con información para todas las fuentes que descargan materia orgánica al lago; además, la carga aportada por ESSAL considera supuestos conservadores. Al comparar los aportes de ESSAL respecto al generado por los centros de cultivo existentes en el lago Llanquihue, es posible señalar que sólo el rubro pesquero aporta en menos de 10 días la carga total de carbono orgánico descargada anualmente por ESSAL.

## 5 CONCLUSIONES

Según el análisis realizado, se puede concluir que los efectos potenciales de las descargas de los aliviaderos de tormenta de ESSAL se pueden dividir en dos categorías: globales y locales. Los efectos globales al lago serían despreciables o muy bajos, mientras que los efectos locales a la bahía de Puerto Varas serían acotados temporalmente.

A nivel global, no hay antecedentes que indiquen que las descargas de los aliviaderos de tormenta de ESSAL provocaron algún efecto ambiental en el lago Llanquihue, de acuerdo a:

- No ha existido una acumulación de nutrientes en los sedimentos o cambios significativos en la calidad histórica del agua (nivel trófico), en el sector cercano a las descargas.
- Las descargas de los aliviaderos de tormenta de ESSAL representan un aporte menor a las aguas del lago respecto a otras fuentes, con máximos de un 4,3% del fósforo, un 6,3% del nitrógeno y un 2,2% del carbono orgánico aportado anualmente por las distintas fuentes al lago Llanquihue.
- Respecto a la carga crítica de fósforo determinada por el IFOP el año 2017 para el lago Llanquihue, las descargas de los aliviaderos de tormenta aportarían como máximo un 2,2% de ella.

A nivel local, se observa que la concentración de algunos de los parámetros evaluados se incrementa al encontrarse los aliviaderos de tormenta activos. A pesar de esto, los análisis indican que este potencial efecto sería temporal y acotado ya que:

- Los sedimentos en la bahía de Puerto Varas no evidencian signos de acumulación de nitrógeno, fósforo o materia orgánica, indicando que los contaminantes abandonan la bahía.
- Los parámetros de calidad del agua en las estaciones de monitoreo históricas presentes en el sector (DGA y DIRECTEMAR) no han presentado tendencias temporales al alza o a la baja.
- La calidad del agua del lago cambia significativamente en sólo cinco días, indicando que el tiempo de residencia de los contaminantes en la columna de agua es corto.
- Existe mezcla con el área del lago adyacente a la bahía lo que disminuye las concentraciones de los potenciales contaminantes (aunque depende de la magnitud y dirección del viento).

Finalmente, en este análisis se observó que la mayoría de los parámetros de calidad del agua en la bahía de Puerto Varas en octubre de 2017 se encuentra dentro de los límites esperados para esta área de vigilancia. La concentración de clorofila-a se mantiene baja y dentro del rango oligotrófico. Dado que ésta es el principal indicador de procesos de eutrofización, su concentración indica que el sector mantiene su característica de oligotrofia, no evidenciando daño ambiental. El nitrógeno también se encuentra dentro del rango oligotrófico, siendo la concentración de fósforo el único parámetro clasificado como mesotrófico. No es posible atribuir el aumento en la concentración de fósforo a las descargas de ESSAL, puesto que existen otras fuentes de descarga, lo que se prueba con el hecho que en la campaña de terreno efectuada con las descargas inactivas la concentración de fósforo en el agua fue mayor a la encontrada en la campaña con los aliviaderos activos. Esto se refuerza con las conclusiones de diversos estudios efectuados anteriormente en la bahía que concluyen que, de existir efectos de contaminación por nutrientes y CF en el borde costero, éstos no serían producto de una sola fuente emisora, siendo generada por un conjunto de descargas puntuales.

## 6 REFERENCIAS

Boyer, J. N., Kelble, C. R., Ortner, P. B., & Rudnick, D. T. (2009). Phytoplankton bloom status: Chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. Ecological indicators, 9(6), S56-S67.

Correll, D. L. (1998). The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *Journal of Environmental Quality*, 27(2), 261-266.

Dirección del Territorio Marítimo (2011). Registros históricos de calidad del agua y sedimentos (periodo 2000 – 2011) del Programa de Observación del Ambiente Litoral (P.O.A.L).

Dirección General de Aguas, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante y Ministerio de Medio Ambiente (2012). Primer informe de calidad. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue. pp 62.

Dirección General de Aguas (2013). Segundo informe de calidad. "Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue". pp 51.

Dirección General de Aguas (2014a). Evaluación de la Condición Trófica de la Red de Control de Los Lagos. pp 207.

Dirección General de Aguas (2014b). Tercer informe de calidad. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue. pp 112.

Dirección General de Aguas (2015). Antecedentes para elaborar informe de calidad. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue. pp 21.

Dirección General de Aguas (2016). Antecedentes para elaborar informe de calidad. Normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue. pp 33.

Dirección General de Aguas (2017). Informe de Ensayo Lagos - Laboratorio Ambiental DGA DCPRH (informe 30/03/2017).

Dubber, D., & Gray, N. F. (2011). The effect of anoxia and anaerobiosis on ciliate community in biological nutrient removal systems using laboratory-scale sequencing batch reactors (SBRs). *Water Research*, 45(6), 2213-2226.

ESSAL, 2010 (Departamento de Ingeniería). Catastro y caracterización ambiental de las descargas efluentes al Lago Llanquihue en la ciudad de Puerto Varas. pp 18.

Godoy, R., C. Oyarzún, V. Gerdin, 2001. Precipitation chemistry in deciduous and evergreen *Nothofagus* forests of southern Chile under low-deposition climate. Basic and Applied Ecology 2: 65-72.

Innovex, 2017. Levantamiento de información oceanográfica y atmosférica: Sector Puerto Varas. pp 44.

Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), 2017. Evaluación del estado ambiental de los lagos utilizados en actividades de acuicultura, en la zona sur austral de chile, IV etapa. pp 279.

Jansson, M., Andersson, R., Berggren, H., & Leonardson, L. (1994). Wetlands and lakes as nitrogen traps. Ambio, 320-325.

Metcalf and Eddy, Inc. (1991) Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse. 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc., Singapore.

POCH (2012). Revisión de antecedentes evento de descarga de aguas servidas Planta Elevadora Santa Rosa – ESSAL S.A. pp 23.

POCH (2017). Catastro de descargas y evaluación de calidad del agua en el lago Llanquihue, sector de playa centro, Puerto Varas. pp. 36.

SGS (2017). Análisis de muestras de agua y sedimentos provenientes de la bahía de Puerto Varas (octubre de 2017).

Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environmental Pollution, 100(1), 179-196.

Superintendencia del Medio Ambiente (2017). Reportes de calidad de agua de establecimientos que descargan al lago Llanquihue o a sus afluentes (DS 90/2001).

Superintendencia del Medio Ambiente (2017). Informe Técnico: Cumplimiento de normas de calidad del agua - norma secundaria de calidad ambiental para la protección de las aguas del lago Llanquihue (periodo 2015-2016).

Wang, X., Olsen, L. M., Reitan, K. I., & Olsen, Y. (2012). Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3), 267-283.

Yang, X. E., Wu, X., Hao, H. L., & He, Z. L. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9(3), 197-209.

Zhao, S.C., 2004. Mechanisms of Lake Eutrophication and technologies for controlling in China. *Advance in Earth Sciences*, 19(1):138-140.

## 7 ANEXOS

Se adjuntan a este documento los siguientes anexos:

- Anexo A: Informe, certificados de laboratorio y certificados de terreno de las campañas 1 y 2 realizadas por SGS (octubre de 2017).
- Anexo B: Determinación de la distribución espacial de los parámetros de calidad del agua en la bahía de Puerto Varas.
- Anexo C: Levantamiento de información oceanográfica y atmosférica de Puerto Varas.
- Anexo D: Fechas de activación de las descargas de los aliviaderos de tormenta de las PEAS Puerto Chico y Santa Rosa de ESSAL.
- Anexo E: Catastro y caracterización de descargas en el litoral de Puerto Varas.