



DIVISIÓN DE RECURSOS NATURALES Y BIODIVERSIDAD
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE

MINUTA TÉCNICA APOYO RESPUESTA TEMÁTICA “SOLICITUD DE INFORMACIÓN DE LA SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE EN EL MARCO DEL PROCEDIMIENTO ADMINISTRATIVO SANCIONATORIO ROL D-049-2020, CON LA FORMULACIÓN DE CARGOS A SOCIEDAD COMERCIAL AGRÍCOLA Y FORESTAL QUIMEYCO LTDA”.

04 de febrero de 2022

En esta minuta la División de Recursos Naturales y Biodiversidad del Ministerio del Medio Ambiente (en adelante, MMA) presenta los análisis más relevantes respecto a la Res. Ex. N°8/ROL D-049-2020 de la Superintendencia del Medio Ambiente (en adelante, SMA) que “*Solicita información al departamento de normas, planes y riesgo ambiental de la división de recursos naturales y biodiversidad del ministerio del medio ambiente*”, reiterada por medio de Res. Ex. N°9/ROL D-049-2020 de SMA.

De acuerdo a la solicitud realizada por la SMA de informar sobre los aportes de los parámetros Fósforo Total y Nitrógeno Total a los niveles de saturación de la calidad de las aguas de la cuenca del lago Villarrica, en el presente documento se cuantifica el impacto de la sobreproducción ocurrida durante el periodo 2015-2020 por el centro de cultivo de propiedad de la Sociedad comercial agrícola y forestal Quimeyco Ltda. (en adelante, piscicultura Quimeyco o Quimeyco) respecto a la estimación de la emisión de nutrientes descargados al cuerpo de agua receptor (Río Carhuello) que forma parte de los cauces de la cuenca del Lago Villarrica (Sección 2), y también se analizan los potenciales efectos de las descargas de nutrientes de la piscicultura sobre el Río Carhuello (ver Sección 3).

1) Documentos consultados para la elaboración de la presente minuta:

- a) Resolución Exenta N°437 del Ministerio del Medio Ambiente, de 25 de mayo de 2020 que Aprueba anteproyecto del plan de descontaminación por clorofila "a", transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del lago Villarrica.
- b) Programa de Cumplimiento Refundido, Piscicultura Quimeyco, 2020
- c) Anexo A PdC Refundido: Documento N°9 – Informe de dilución de efluente en cuerpo receptor río Carhuello, Piscicultura Quimeyco – Biogea LTDA, 2020.
- d) Anexo A PdC Refundido: Documento N°10 – Caracterización del estado ambiental del río Carhuello, Piscicultura Quimeyco – Faroverde GestiónAmbiental, 2020.
- e) Anexo A PdC Refundido: Documento N°11 – Detalle Composición alimento,



Piscicultura Quimeyco, 2020.

- f) Anexo A PdC Refundido: Documento N°14 – Análisis de eficiencia tratamiento de RILes, Aguas Claras, 2020.
- g) Planilla Excel Produccion anual (biomasa) año 2013 al 2020 – Enviado vía correo electrónico por SMA 30 de abril de 2020.
- h) Planillas Excel ResultadosVerificacionNorma2017; ResultadosVerificacionNorma2018; ResultadosVerificacionNorma2019; ResultadosVerificacionNorma2020; ResultadosVerificacionNorma2021 – Enviados vía correo electrónico por SMA 30 de abril de 2020.
- i) Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture, Wang et al, 2012.
- j) Perspective of nutrient emission from fish aquaculture in coastal waters, Literature review with evaluated state of knowledge, Olsen et al, 2008.
- k) Informe final “Desarrollo de protocolo para la toma de decisiones en torno a la actividad acuícola en la cuenca de río Bueno”, Universidad Austral de Chile, 2017.
- l) Evaluación de medidas de reducción de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en base al análisis de escenarios, como insumo para la preparación del anteproyecto del plan de descontaminación de la cuenca del lago Villarrica (etapa 3), Universidad de la Frontera, 2020.
- m) Res. Ex. N°1/ROL D-049-2020 Formula cargos que indica a sociedad comercial agrícola y forestal Quimeyco Ltda., SMA, 2020.
- n) Observaciones ingresadas en el proceso de consulta ciudadana: Anteproyecto del Plan de Descontaminación por Clorofila “A”, Transparencia y Fósforo disuelto para la cuenca del Lago Villarrica: Formula observaciones, Asociación de la Industria del Salmón de Chile A.G (Salmón Chile), 2021.
- o) Decreto 43 del Ministerio del Medio Ambiente del 6 de agosto de 2018 que Declara zona saturada por clorofila “a”, transparencia y fósforo disuelto, a la cuenca del Lago Villarrica.
- p) Decreto 320 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Subsecretaría de Pesca, del 16 de noviembre de 2020, Reglamento Ambiental para la Acuicultura.

2) Estimación de la emisiones de nutrientes y su potencial contribución a la saturación de la cuenca del lago Villarrica



2.1) Concepto de cuenca hidrográfica y carga de contaminantes (nutrientes)

Antes de referirnos al aporte específico de nutrientes por parte de la actividad productiva realizada por la piscicultura Quimeyco, es importante mencionar que de acuerdo con ref. o, “La cuenca es un área integrada que se debe considerar indivisible para efectos de su gestión. Los lagos son parte de una cuenca y forman reservorios de agua provenientes de afluentes, deshielos, precipitaciones e interacción con el acuífero, entre otros. De esta manera, para adoptar medidas que impacten de manera efectiva sobre el cuerpo lacustre, es necesario abordar la totalidad de las subsubcuencas que drenan hacia el lago, las que constituyen el objeto de esta regulación”.

En otras palabras, los aportes de nutrientes, y por ende, la posterior saturación del lago Villarrica, no se debe solamente a la actividad específica de una fuente puntual, si no al efecto conjunto de actividades antrópicas (sinérgicas) que aportan nutrientes al lago, en este sentido, a pesar de que todas las fuentes antrópicas de la cuenca puedan estar cumpliendo con la norma de emisión vigente (D.S. 90/2000), el efecto combinado del aporte de cargas de nutrientes de todas ellas, pueden provocar la excedencia de la norma secundaria, por lo que la saturación del lago es responsabilidad de todos los actores que mediante emisiones difusas o puntuales aportan nutrientes en algún punto de la cuenca.

Lo anterior se ve reflejado en el inventario de emisiones del Anteproyecto del Plan de descontaminación por clorofila "a", transparencia y fósforo disuelto, para la cuenca del lago Villarrica (en adelante, PDAV) aprobado mediante Resolución Exenta N°437 del 25 de mayo de 2020 (disponible en: https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2020/proyectos/Folio_1719_1764_RE_N_437_Aprueba_Anteproyecto_PDLago_Villarrica.pdf), donde se identifica entre los aportes antrópicos de nutrientes a la cuenca: las aguas servidas domiciliarias, usos de suelo antrópicos (monocultivos, actividad agropecuaria, suelos urbanos) y fuentes puntuales como las empresas de servicios sanitarios y las pisciculturas, siendo estas últimas las que en términos de carga, generan el mayor aporte antrópico estimado de nutrientes a la cuenca tanto para fósforo como para nitrógeno (ver Tabla 1).

Tabla 1 Inventario de Emisiones anual año base 2017 (ref. a)

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 (%)
Pisciculturas	Puntual	115,55	38,2	720,00	50,0
Empresas de Servicios Sanitarios	Puntual	3,59	1,2	22,10	1,5
Alcantarillado Curarrehue	Puntual	4,88	1,6	23,10	1,6



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	136,62	45,1	384,57	26,7
Coberturas de suelos Antrópicos de la cuenca (urbano, silvoagropecuario)	Difusa	33,99	11,2	235,60	16,4
Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en área concesionada	Difusa	2,61	0,9	16,98	1,2
Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en borde lago	Difusa	1,22	0,4	7,94	0,6
Aguas residuales domiciliarias sin saneamiento en zona rural	Difusa	4,36	1,4	28,36	2,0
Total		302,82	100,0	1438,65	100,0

2.2) Estimación de los aportes de Fósforo Total y Nitrógeno Total de Piscicultura Quimeyco utilizando información de reportes de autocontrol de emisiones la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales D.S. 90/200.

Con el objetivo de cuantificar los aportes de Fósforo Total y Nitrógeno Total de Piscicultura Quimeyco, y el posible incremento (exceso) de emisiones de ambos parámetros se procedió a analizar la información reportada de los autocontroles de las descargas de residuos líquidos por cumplimiento de la norma de emisión Decreto Supremo 90/2000 reportados a la SMA para los años 2017 a 2020 (ref. h).

Con esta información, se procedió a calcular la carga anual emitida para Fósforo Total y Nitrógeno Total, siguiendo la siguiente ecuación:



$$W_{NT,PT} = \sum_{i=1}^{12} \bar{Q}_i * N_i * \bar{C}_{i-NT,PT} * K \quad (1)$$

Donde:

NT: Nitrógeno Total

PT: Fósforo Total

W: Carga total anual en toneladas

\bar{Q} : Caudal promedio para el mes i en m³/día

N: Número de días para el mes i

\bar{C} : Concentración promedio para el mes i en mg/l

K: Constante de conversión de unidades de m³ a litros y de mg a toneladas igual a 1/1000000

De acuerdo a la información provista por SMA (ref. h), para Fósforo total existen datos medidos bajo límite de detección (en adelante, BLD; y en adelante LD para Límite de Detección) para todos los años analizados (entre un 73% y 100% del total de datos), misma situación que se presenta para las emisiones de Nitrógeno Total en los años 2017 y 2018 (98% y 48% del total de datos respectivamente), es por lo anterior, para la estimación de cargas anuales se definen los siguiente 3 escenarios:

- 1) Escenario 1: Se asume que los valores medidos cuando se reporta BLD son iguales al 25% del LD (concentraciones de Fósforo Total de acuerdo a supuesto propuesto por "Salmon Chile" en ref. n).
- 2) Escenario 2: Se asume que los valores medidos cuando se reporta BLD son iguales al 50% del LD (escenario utilizado para realizar el inventario de emisiones de ref. a).
- 3) Escenario 3: Se asume que los valores medidos cuando se reporta BLD son iguales al LD.

Con la metodología mencionada anteriormente, se obtuvieron los resultados reportados en la tabla 2.

Tabla 2: Estimación de cargas anuales de Fósforo Total y Nitrógeno Total utilizando datos reportados por autocontrol del D.S. 90 (ref. h) para distintos escenarios propuestos.

Año	Estimación Cargas de Fósforo Total Anuales (ton/año)				Estimación Cargas de Nitrógeno Total Anuales (ton/año)			
	Esc 1 (25% LD)	Esc 2 (50% LD)	Esc 3 (100% LD)	% Datos bajo LD	Esc 1 (25% LD)	Esc 2 (50% LD)	Esc 3 (100% LD)	% Datos bajo LD
2017	5,37	10,73	21,46	100%	14,59	28,18	55,37	98%
2018	3,35	6,15	11,74	96%	36,04	42,87	56,54	48%



2019	5,25	6,08	7,74	73%	36,13	36,13	36,13	0%
2020¹	1,53	2,14	3,37	92%	14,86	14,86	14,86	0%

Nota: 1: De acuerdo a información entregada por SMA, los datos de producción y alimento con que se cuenta en las bases de datos corresponden hasta junio de 2021, por lo que se incluyeron solo los registros de autocontrol hasta dicho mes inclusive.

2.3) Estimación de los aportes de Fósforo Total y Nitrógeno Total de piscicultura Quimeyco utilizando metodología de balance de masa.

Debido al alto número de valores reportados BLD en el marco del cumplimiento del DS 90, y con el objeto de tener una segunda aproximación para cuantificar los aportes de Fósforo Total y Nitrógeno Total de piscicultura Quimeyco, y el posible exceso de emisión de ambos parámetros, es que se procedió a estimar las cargas de Fósforo Total y Nitrógeno Total mediante la realización de un balance de masa del proceso de alimentación de peces en una piscicultura.

De acuerdo a la literatura internacional (ref. i y ref. j), el balance de masa para Nitrógeno Total y Fósforo Total para el consumo de alimento de peces puede representarse por la siguiente ecuación:

$$I_{NT,PT} = A_{NT,PT} + F_{NT,PT} + L_{NT,PT} = G_{NT,PT} + E_{NT,PT} + F_{NT,PT} + L_{NT,PT} \quad (2)$$

Donde:

NT: Nitrógeno Total

PT: Fósforo Total

I: Cantidad de nutrientes (NT o PT) ingresado al sistema en el alimento

A: Nutrientes (NT o PT) asimilados (parte que es digerida por los peces y absorbida por los tejidos)

F: Cantidad de nutrientes (NT o PT) liberados por defecación

L: Cantidad de nutrientes (NT o PT) contenidos en alimento no consumido por los peces

G: Crecimiento o retención de nutrientes (NT o PT) en biomasa.

E: Cantidad de nutrientes (NT o PT) liberados por excreción.

De forma simplificada, el balance anterior se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$I_{NT,PT} = G_{NT,PT} + D_{NT,PT} + P_{NT,PT} \quad (3)$$

Donde:

D: Cantidad de nutrientes (NT o PT) disueltos en los desechos (Orgánicos e Inorgánicos).

P: Cantidad de Nutrientes (NT o PT) particulados de los desechos.

Adicionalmente, $I_{NT,PT}$ puede determinarse de la siguiente forma:

$$I_{NT,PT} = I_T * FI_{NT,PT} \quad (4)$$

Donde:

I_T : Masa total de alimento utilizada en la piscicultura



FI: % de nutrientes (NT o PT) contenido en el alimento utilizado en la piscicultura

Tabla 3: Porcentaje de nutrientes (Fósforo Total y Nitrógeno Total) contenido en alimento utilizado por Piscicultura Quimeyco (ref. e)

Factor	Fósforo Total		Nitrógeno Total	
	Orbit Nitro T-3	Orbit Nitro T-4	Orbit Nitro T-3	Orbit Nitro T-4
FI	1,49%	1,47%	7,37%	7,36%

Tal como se puede observar en Tabla 3, la cantidad de fósforo y nitrógeno utilizados en los alimentos por Piscicultura Quimeyco es similar independiente del alimento utilizado. De modo conservador se utilizará el valor superior para ambos nutrientes (señalados con letras verdes en Tabla 3).

De acuerdo a ref. i y ref. j, $G_{NT,PT}$, $D_{NT,PT}$ y $P_{NT,PT}$ pueden escribirse como una proporción de los nutrientes ingresados en el sistema en el alimento ($I_{NT,PT}$) de la siguiente forma:

$$G_{NT,PT} = FG_{NT,PT} * I_{NT,PT}; D_{NT,PT} = FD_{NT,PT} * I_{NT,PT}; P_{NT,PT} = FP_{NT,PT} * I_{NT,PT} \quad (5)$$

Tabla 4: Factores en referencias internacionales para balances de masa de alimentación de peces.

Factor	Fósforo Total		Nitrógeno Total	
	Ref. i	Ref. j	Ref. i	Ref. j
FG	30,08%	30,70%	37,50%	38,20%
FD	26,15%	26,80%	47,63%	44,80%
FP	43,78%	42,50%	14,88%	17,00%

Tal como se puede observar en la Tabla 4, los factores de ambas referencias son muy similares, por lo que la utilización de una u otra referencia no afecta significativa en los resultados. Para esta minuta, se procede a realizar los cálculos con los valores de ref. i (señalados con letras verdes en la Tabla 4), debido a que son los valores que ha utilizado el Ministerio del Medio Ambiente en estudios anteriores.

Por otra parte, la cantidad de nutrientes en el efluente puede calcularse de la siguiente manera:

$$EF_{NT,PT} = (P_{NT,PT} + D_{NT,PT}) * (1 - RF_{NT,PT}) \quad (6)$$

Donde:

$EF_{NT,PT}$: Carga de nutrientes (NT o PT) en el efluente

$RF_{NT,PT}$: Eficiencia de remoción de nutrientes (NT o PT) del sistema de tratamiento, en el caso de Quimeyco, corresponde a un filtro rotatorio (o rotofiltro, o rotafiltro) con sedimentador gravitacional (ref. f)

Al combinar las ecuaciones (4), (5) y (6), la carga de nutrientes en el efluente puede



calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$EF_{NT,PT} = I_T * FI_{NT,PT} * (FD_{NT,PT} + FP_{NT,PT}) * (1 - RF_{NT,PT}) \quad (7)$$

De acuerdo a ref. k, los resultados preliminares ejecutados en ese estudio muestran que en general (4 de 6 pisciculturas de la cuenca del río Bueno) el tratamiento de RILes usando rotafiltros y piscinas de decantación para Fósforo Total, Nitrógeno Total y Carbono sería deficiente. Los resultados del estudio antes mencionado, indican que las concentraciones de estos parámetros medidos en el efluente, corresponden casi al mismo valor a las concentraciones esperadas en un efluente sin tratamiento (considerando tanto la fracción soluble como la particulada). Aunque este resultado se debe interpretar como tentativo, se podría relacionar con la observación que el/los rotafiltros no siempre están funcionando, que existen bypass a los sistemas de tratamiento, que se solubiliza y lixivia parte de la fracción particulada retenida por los rotafiltros, la cantidad diaria insuficiente de remoción de lodo y que otros procesos todavía no estudiados están involucrados. Por otra parte, en ref. f, se realiza un balance de masas en donde se estima la eficiencia del sistema de tratamiento actual de la planta Quimeyco para Solidos Suspendidos Totales (en adelante, SST) de un 51%, 25,2% para PT y un 12% para NT.

En base a lo anterior, se realizaron dos estimaciones anuales de cargas de nutrientes, (i) un escenario favorable, en donde se asume que la eficiencia de la remoción de los rotofiltros es la indicada en ref. f, y (ii) un escenario desfavorable en donde se asume que la eficiencia de remoción del rotofiltro es prácticamente nula (de acuerdo a ref. k).

Para realizar las estimaciones se utilizó la ecuación (7) con los parámetros que se indican en Tabla 5, con lo que se obtienen los resultados de la Tabla 6.

Tabla 5: Factores utilizados para la estimación del balance de masa (cálculos realizados con ecuación (6))

Factor	Fósforo Total		Nitrógeno Total	
	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable
FI	1,49% ¹	1,49% ¹	7,37% ¹	7,37% ¹
FG	30,08% ²	30,08% ²	37,50% ²	37,50% ²
FD	26,15% ²	26,15% ²	47,63% ²	47,63% ²
FP	43,78% ²	43,78% ²	14,88% ²	14,88% ²
RF	25,20% ³	0% ⁴	12,00% ³	0% ⁴

Nota: 1: ref. e; 2: ref. i; 3: ref. f; 4: ref. k.



Tabla 6: Estimación de cargas anuales de Fósforo Total y Nitrógeno Total utilizando balance de masa para distintos escenarios.

Año	I_T (ton/año) ¹	EF_{PT} (ton/año)		EF_{NT} (ton/año)	
		Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable
2015	305,5	2,38	3,18	12,38	14,07
2016	440,5	3,43	4,59	17,86	20,29
2017	430,6	3,36	4,49	17,45	19,83
2018	463,7	3,61	4,83	18,79	21,36
2019	566,0	4,41	5,90	22,94	26,07
2020 ²	282,7	2,20	2,94	11,46	13,02

Nota: 1: ref. g; 2: De acuerdo a ref. g, valores para año 2020 consideran producción solo hasta el mes de junio.

2.4) Estimación de los aportes adicionales de Fósforo Total y Nitrógeno Total de piscicultura Quimeyco por sobreproducción de biomasa utilizando metodología de balance de masa.

De acuerdo a lo señalado en ref. m y ref. g, de acuerdo a lo reportado por SMA existirían al menos 3 hechos infraccionarios de parte de Quimeyco, relacionados directamente a la sobreproducción de biomasa entre los años 2015 y 2020, consistentes en: 1) producción excede lo autorizado (120 ton/año); 2) consumo de alimentos excede lo autorizado (180 ton/año) y 3) lodos generados exceden lo autorizado (72 ton/año).

El objetivo de esta sección de la minuta es, mediante la metodología de balance de masa explicada en la sección 2.3), realizar una estimación de cuanto serían las cargas adicionales de nutrientes (Nitrógeno Total y Fósforo Total) que aportó la piscicultura debido al incumplimiento de las exigencias de las RCAs aprobadas por el proyecto de Quimeyco, en particular a la asociada al exceso de alimentos consumidos, ya que tal como se observa en la ecuación 7, los nutrientes en los efluentes se pueden estimar de forma proporcional a la cantidad de alimentos suministrados por el centro.

A continuación, en la Tabla 7, se presenta un resumen de los valores de producción, consumo de alimentos y producción de lodos aprobados y generados por piscicultura Quimeyco.

Tabla 7: Producción anual, consumo de alimentos y producción de lodo de Quimeyco versus valores autorizados en RCA (ref. g).

Año	Producción Anual (Ton/año)	Producción aprobada RCA 95_2006 (Ton/año)	Alimento Consumido Anual (ton/año)	Consumo alimento aprobado	Producción de Lodo Anual (Ton/año)	Producción de Lodo aprobado
-----	----------------------------	---	------------------------------------	---------------------------	------------------------------------	-----------------------------



				RCA 95_2006 (ton/año)		RCA 95_2006 (ton/año)
2013	116,4	120	72,1	180	28,8	72
2014	117,6	120	104,3	180	41,7	72
2015	292,3	120	305,5	180	122,2	72
2016	244,6	120	440,5	180	176,2	72
2017	463,5	120	430,6	180	172,2	72
2018	373,3	120	463,7	180	185,5	72
2019	442,2	120	566,0	180	226,4	72
2020¹	210,3	120	282,7	180	113,1	72

Nota: 1: De acuerdo a información entregada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2020.

Considerando los valores de alimento consumido de la Tabla 7, se procedió a estimar la carga adicional de nutrientes que aporte la piscicultura a cauces de la cuenca del lago Villarrica, considerando un caso favorable y desfavorable en función de la eficiencia del rotofiltro, para lo que se utilizaron los factores de la Tabla 5 y las siguientes ecuaciones:

$$SI_{T_a} = I_{T_a} - 180 \text{ ton (8)}$$

$$SEF_{NT,PT_a} = SI_{T_a} * FI_{NT,PT} * (FD_{NT,PT} + FP_{NT,PT}) * (1 - RF_{NT,PT}) \text{ (9)}$$

Donde:

SI_T : Exceso de alimentos consumidos de un año a en relación a las condiciones aprobadas en las RCAs de Quimeyco.

SEF: Sobrecarga de nutrientes (NT o PT) en el efluente asociado al exceso de alimentos consumidos (SI_T) de un año a.

Utilizando las ecuaciones 8 y 9, se obtiene que la sobrecarga de nutrientes para cada uno de los años comprendidos entre 2015 y 2020 son los siguientes:

Tabla 8: Estimación anual de sobrecarga de nutrientes (Fósforo Total y Nitrógeno Total) asociado al exceso de alimentos consumidos de Quimeyco.

Año	I_T (ton/año)	Consumo alimento aprobado RCA 95_2006 (ton/año)	SI_T (ton/año)	SEF_{PT} (ton/año)		SEF_{NT} (ton/año)	
				Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable
2015	305,5	180	125,5	0,98	1,31	5,09	5,78
2016	440,5	180	260,5	2,03	2,71	10,56	12,00
2017	430,6	180	250,6	1,95	2,61	10,16	11,54



2018	463,7	180	283,7	2,21	2,96	11,50	13,07
2019	566,0	180	386,0	3,01	4,02	15,65	17,78
2020¹	282,7	180	102,7	0,80	1,07	4,16	4,73
			Suma	10,98	14,68	57,11	64,90
			Promedio	1,83	2,45	9,52	10,82

Nota: 1: De acuerdo a información entregada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2020

Con los resultados obtenidos en Tabla 6 y Tabla 8, se puede determinar la descarga de nutrientes que habría tenido la piscicultura en caso de haber cumplido con las exigencias de su RCA, es decir, tener un consumo de alimentos de 180 toneladas, junto con el % de aumento de descarga de nutrientes, utilizando las siguientes fórmulas:

$$EF_{180ton_{NT,PT_a}} = EF_{NT,PT_a} - SEF_{NT,PT_a} \quad (10)$$

$$\% SC_{NT,PT_a} = \frac{EF_{NT,PT_a} - EF_{180ton_{NT,PT_a}}}{EF_{180ton_{NT,PT_a}}} \quad (11)$$

Donde:

EF_{180ton}: Carga de nutrientes (NT o PT) en el efluente considerando un consumo de alimentos para un año a de 180 toneladas.

EF: Carga de nutrientes (NT o PT) estimados para la descarga de la piscicultura utilizando la metodología de balance de masas (ecuación 7, Tabla 6) para un año a.

SEF: Sobrecarga de nutrientes (NT o PT) en el efluente asociada a la sobreproducción de biomasa para un año a (ecuación 13, Tabla 8).

%SC: % de aumento de descarga de nutrientes respecto a escenario de producción para un año a de 180 toneladas.

Utilizando las ecuaciones 10 y 11, y los valores presentados en Tabla 6 y Tabla 8 se obtienen los valores de la Tabla 9 y Tabla 10 para Fósforo Total y Nitrógeno Total respectivamente:

Tabla 9: Estimaciones anuales de carga de Fósforo Total descargada por Quimeyco (EF), sobrecarga debido al exceso de alimentos consumidos (SEF) y carga estimada considerando un consumo de alimento de 180 toneladas aprobado por RCA.

Año	EF _{PT} (ton/año)		SEF _{PT} (ton/año)		EF _{180ton_{PT}} (ton/año)		%SC
	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable	
2015	2,38	3,18	0,98	1,31	1,40	1,88	70%
2016	3,43	4,59	2,03	2,71	1,40	1,88	145%
2017	3,36	4,49	1,95	2,61	1,40	1,88	139%
2018	3,61	4,83	2,21	2,96	1,40	1,88	158%



2019	4,41	5,90	3,01	4,02	1,40	1,88	214%
2020¹	2,20	2,94	0,80	1,07	1,40	1,88	57%
Suma	19,40	25,93	10,98	14,68	8,42	11,25	130%
Promedio	3,23	4,32	1,83	2,45	1,40	1,88	130%

Notas: 1: De acuerdo a información proporcionada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2020

Tabla 10: Estimaciones anuales de carga de Nitrógeno Total descargada por Quimeyco (EF), sobrecarga debido al exceso de alimentos consumidos (SEF) y carga estimada considerando un consumo de alimento de 180 toneladas aprobado por RCA.

Año	<i>EF_{NT}</i> (ton/año)		<i>SEF_{NT}</i> (ton/año)		<i>EF180ton_{NT}</i> (ton/año)		%SC
	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Caso Favorable	Caso Desfavorable	
2015	12,38	14,07	5,09	5,78	7,30	8,29	70%
2016	17,86	20,29	10,56	12,00	7,30	8,29	145%
2017	17,45	19,83	10,16	11,54	7,30	8,29	139%
2018	18,79	21,36	11,50	13,07	7,30	8,29	158%
2019	22,94	26,07	15,65	17,78	7,30	8,29	214%
2020¹	11,46	13,02	4,16	4,73	7,30	8,29	57%
Suma	100,89	114,65	57,11	64,90	43,78	49,75	130%
Promedio	16,81	19,11	9,52	10,82	7,30	8,29	130%

Notas: 1: De acuerdo a información proporcionada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2020

De los resultados obtenidos en la Tabla 8, se infiere que si piscicultura Quimeyco hubiese operado cumpliendo con la restricción de consumo de alimento aprobado en la RCA (180 ton/año) habría aportado entre 10,98 y 14,68 toneladas de Fósforo Total, y entre 57,11 y 64,90 toneladas de Nitrógeno Total menos que las que emitió durante el periodo 2015-2020 (hasta junio), con valores máximos para Fósforo Total de entre 3,01 y 4,02 ton/año y para el Nitrógeno Total de entre 15,65 y 17,78 ton/año, correspondientes al sobreconsumo de alimentos del año 2019. Es importante destacar que de acuerdo a ref. a el Tiempo de Renovación Hidráulico (TRH) del lago Villarrica es de entre 2 a 4 años, por lo que la sistemática sobreproducción de biomasa y por ende, la sobre emisión de nutrientes a los cauces que conforman la cuenca del lago Villarrica de parte de piscicultura Quimeyco, influye en el efecto acumulativo de descargas que afectarían el estado trófico del Lago Villarrica, cuerpo de agua que puede tomar incluso 4 años en renovar sus aguas de los efectos que se generen sobre éste.

Si consideramos la carga adicional máxima estimada en la presente minuta para piscicultura Quimeyco (caso desfavorable, año 2019) de 4,02 ton/año, este valor corresponde a aproximadamente un 3% de la emisión estimada por las pisciculturas para el año 2017 utilizada como escenario base para el inventario de emisiones del plan (115,55 toneladas de acuerdo a ref. a) y a un 4% de la meta de reducción para ese rubro de acuerdo



PDAV (95,45 toneladas de acuerdo a ref. a), instrumentos que están en proceso de elaboración de proyecto definitivo.

Es relevante considerar que condición de saturación del lago Villarrica y su cuenca no es provocada por una sola fuente puntual, si no por el efecto sinérgico generado por las emisiones de nutrientes de los distintos actores de la cuenca que descargan sus residuos líquidos (fuentes puntuales y difusas) a los cuerpos de agua que conforman la cuenca de este lago y que finalmente desaguan en el lago. Por lo anterior, emisiones adicionales de nutrientes que se han generado en la cuenca han influido en la condición de saturación del lago Villarrica y por ende a la superación de la norma. En este sentido, al analizar los resultados presentados en la Tabla 9 y Tabla 10, donde si se considera el promedio de las cargas durante el periodo 2015-2020 (hasta junio) de piscicultura Quimeyco, la descarga de nutrientes (tanto Fósforo Total como Nitrógeno Total) excede a lo estimado si el consumo de alimento durante todos esos años hubiese sido de 180 toneladas en un 130% (si con una operación respetando el límite de producción la piscicultura hubiese descargado 100 unidades de nutrientes en todo el periodo, la sobreproducción provocó que en realidad descargara 230 unidades de nutrientes), lo que presenta un aporte relevante de nutrientes respecto al escenario simulado en el cual piscicultura Quimeyco hubiese cumplido con su RCA.

Lo anterior resulta sumamente relevante, ya que si se considera que de acuerdo a ref. I se han identificado al menos 13 pisciculturas operativas con descargas a cuerpos de agua de la cuenca del Lago Villarrica, en caso de que otras empresas del rubro realizaran una sobreproducción de los órdenes que lo ha hecho piscicultura Quimeyco, el aporte de nutrientes al lago Villarrica sería significativamente mayor a los aportes observados actualmente y que han generado la condición de saturación de esta cuenca.

2.5) Comparación entre valores obtenidos mediante emisiones reportados por cumplimiento del D.S. 90/2000 (sección 2.2) y balance de masas (sección 2.3)

Para realizar una revisión de los resultados obtenidos en las secciones 2.3) y 2.4), se llevó a cabo una comparación entre los valores obtenidos de cargas de nutrientes utilizando los valores de emisiones reportados por piscicultura Quimeyco en el marco del cumplimiento de la norma de emisión D.S. 90/2000 (Tabla 2) y las estimaciones realizadas considerando balance de masa (Tabla 6) para los años comprendidos entre 2018 y 2020. Los resultados de esta comparación se muestran en la tabla 11.

Tabla 11: Estimación de cargas anuales de Fósforo Total considerando los valores de emisiones reportados en el D.S. 90 y mediante balance de masas.

Año	Estimación Cargas de Fósforo Total Anuales (ton/año)					
	Cálculo mediante Balance de Masa (Tabla 6)		Cálculo mediante emisiones de reporte D.S. 90 (Tabla 2)			
	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Esc 1 (25% LD)	Esc 2 (50% LD)	Esc 3 (100% LD)	% Datos bajo LD

2018	3,61	4,83	3,35	6,15	11,74	96%
2019	4,41	5,90	5,25	6,08	7,74	73%
2020¹	2,20	2,94	1,53	2,14	3,37	92%

Nota: 1: De acuerdo a información proporcionada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2021, por lo que se incluyeron solo los registros de autocontrol hasta dicho mes inclusive.

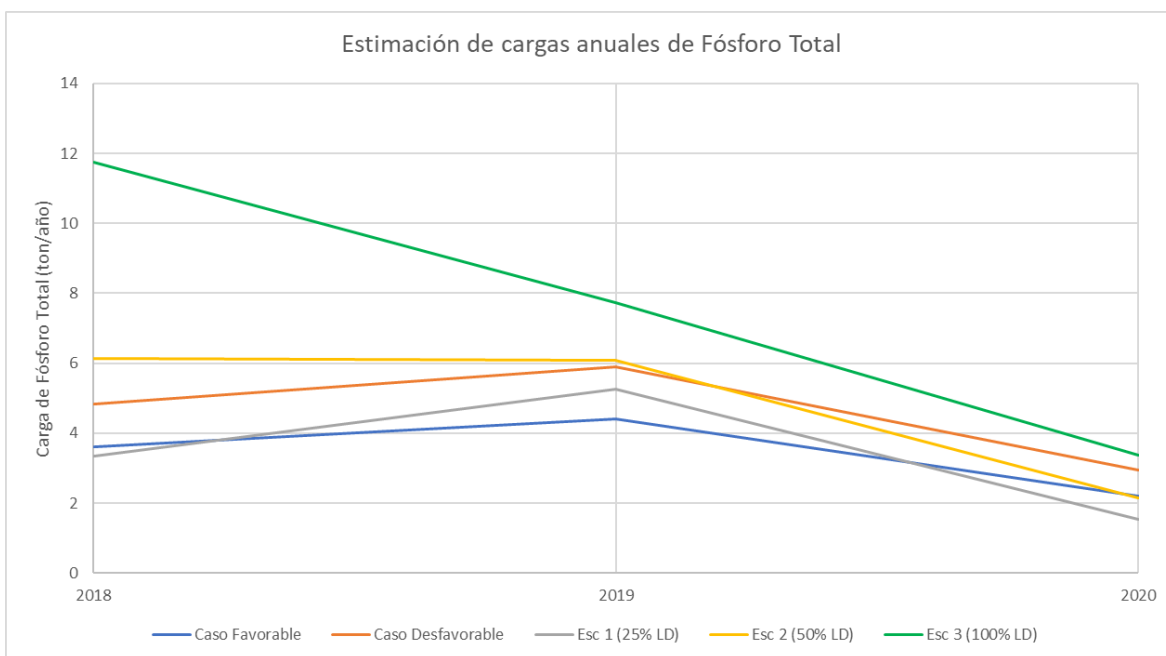


Figura 1: Evolución temporal de cargas anuales de Fósforo Total considerando los valores reportados por cumplimiento de D.S. 90 y mediante balance de masas.

Tabla 12: Estimación de cargas anuales de Nitrógeno Total considerando los valores reportados por cumplimiento de D.S. 90 y mediante balance de masas.

Año	Estimación Cargas de Nitrógeno Total Anuales (ton/año)					
	Cálculo mediante Balance de Masa (Tabla 6)		Cálculo mediante datos DS 90 (Tabla 2)			
	Caso Favorable	Caso Desfavorable	Esc 1 (25% LD)	Esc 2 (50% LD)	Esc 3 (100% LD)	% Datos bajo LD
2018	18,79	21,36	36,04	42,87	56,54	48%
2019	22,94	26,07	36,13	36,13	36,13	0%
2020¹	11,46	13,02	14,86	14,86	14,86	0%

Nota: 1: De acuerdo a información proporcionada por SMA, los datos de producción y alimento que se tienen en las bases de datos corresponden hasta junio de 2021, por lo que se incluyeron solo los registros de autocontrol hasta dicho mes inclusive.

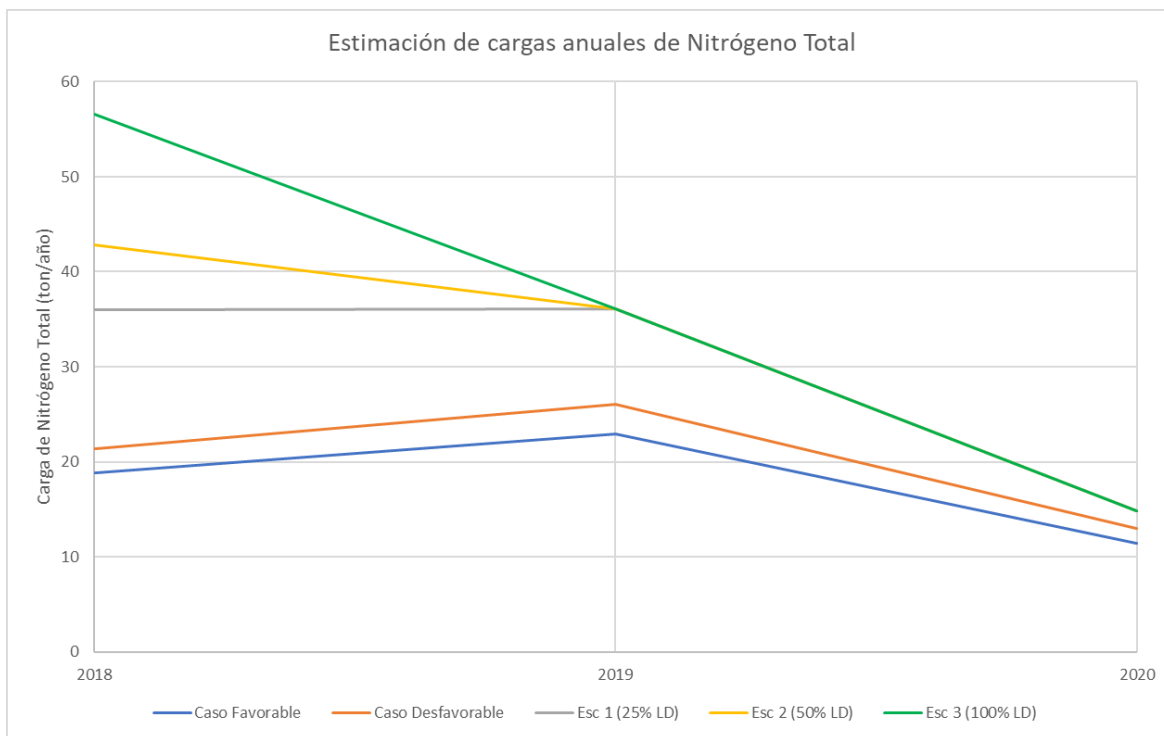


Figura 2: Evolución temporal de cargas anuales de Nitrógeno Total considerando los valores reportados por cumplimiento de D.S. 90 y mediante balance de masas.

Para el caso del Fósforo Total, al observar la Tabla 11 y Figura 1, los resultados obtenidos por balance de masa para los casos favorables y desfavorables son similares a los valores obtenidos utilizando las emisiones reportadas por cumplimiento de la norma de emisión D.S. 90 para los escenarios 1 y 2 (25% y 50% del LD respectivamente), con lo que se asume que dependiendo el funcionamiento del rotofiltro, los valores de carga anual de fósforo total podrían estar entre lo propuesto por “Salmon Chile” (Escenario 1, ref. n) y lo propuesto por el MMA en el PDAV (Escenario 2, ref. a). Dicho lo anterior, se considera que el orden de magnitud para los valores de Fósforo Total presentados en las secciones 2.3) y 2.4) mediante la metodología de balance de masas están dentro que del rango resultados considerados aceptables.

Por otra parte, para el caso del Nitrógeno Total, la Tabla 12 y Figura 2 muestran que los valores de carga anual de Nitrógeno total obtenidos utilizando el reporte de emisiones por cumplimiento de D.S. 90/2000 son superiores a los obtenidos mediante balance de masa, lo anterior indica que el cálculo mediante balance de masa podría estar subestimando el aporte de nutrientes versus lo que realmente emite la piscicultura, sobre todo considerando los años 2019 y 2020 donde todos los valores de Nitrógeno Total de emisiones reportadas por D.S. 90 están sobre LD, con lo que la sobrecarga de Nitrógeno Total calculada en las secciones 2.3) y 2.4) podría ser incluso superior a lo estimado en esta minuta.

2.6) Análisis de producción de biomasa



De acuerdo a los antecedentes entregados en la ref. g, se proporcionaron valores mensuales para el periodo comprendido entre los años 2013 a 2018 de biomasa inicial en el centro de cultivo; biomasa ingresada en el mes; biomasa de peces despachados, biomasa de mortalidad despachada; y biomasa al final del periodo en el centro de cultivo, por lo que se procedió a realizar un análisis de la biomasa producida por piscicultura Quimeyco.

Es importante destacar que en ref. p, se presenta la siguiente definición de producción (utilizada en valores reportados en Tabla 7: “*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*”, es decir:

$$Prod_t = Mor_t + Des_t - Ing_t \quad (12)$$

Donde:

Prod: Producción de biomasa para un periodo t de acuerdo a ref. p.

Mor: Biomasa asociada a mortalidad de peces en el centro de cultivo durante el periodo de tiempo t.

Des: Biomasa asociada al despacho de peces en el centro de cultivo durante el periodo de tiempo t.

Ing: Biomasa asociada al ingreso de peces en el centro de cultivo durante el periodo de tiempo t.

Esta definición no incorpora la generación de biomasa que pueda no ser egresada o ingresada del centro acuícola, es decir, la diferencia entre la biomasa al inicio y al final de un periodo determinado que queda en el centro acuícola. Dicho lo anterior, se define el concepto de “Biomasa Producida” para un periodo de tiempo t mediante la siguiente expresión (ref. a):

$$BP_t = Bf_t - Bi_t + Mor_t + Des_t - Ing_t = Bf_t - Bi_t + Prod_t \quad (13)$$

Donde:

BP: Biomasa producida en un periodo de tiempo t.

Bf: Biomasa en el centro de cultivo al final del periodo de tiempo t.

Bi: Biomasa en el centro de cultivo al inicio del periodo de tiempo t.

En la ref. g se presentan valores mensuales para cada uno de los elementos del lado derecho de la ecuación 13 para el periodo comprendido entre los años 2013 a 2018. Para el presente trabajo, se procede a estimar la biomasa producida con dichos valores utilizando la ecuación 13 para los años 2015 a 2018, años en que existió sobreproducción de parte de Quimeyco, obteniendo los valores de la Figura 3.

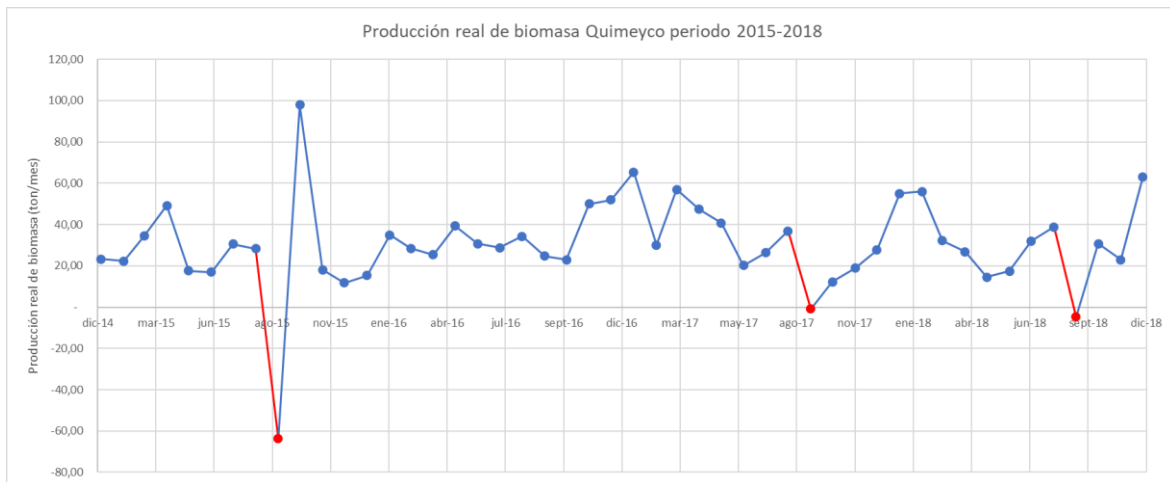


Figura 3: Evolución temporal de la biomasa producida (BP) en función del tiempo a nivel mensual para periodo 2015-2018, en rojo se destacan los periodos en que BP es menor a 0.

Es importante notar que al realizar el cálculo de BP a nivel mensual utilizando la ecuación 13, para los meses de septiembre de los años 2015, 2017 y 2018 se obtiene como resultado un valor negativo, de 63,9; 1 y 4,8 toneladas respectivamente (Ver Figura 3).

Físicamente no es posible tener una biomasa producida negativa, es por lo anterior que se sugiere solicitar al titular aclaración de estos valores.

3) Efectos de la descarga de nutrientes (Fósforo Total y Nitrógeno Total) asociados al RIL de Quimeyco en el Río Carhuello

De acuerdo a los antecedentes revisados (ref. b y ref. c) se menciona que: “*Los resultados de los muestreos muestran que el parámetro fósforo Orgánico, aumenta su concentración (0,456 mg/L) previo a la descarga del proyecto, lo que se evidencia comparando los resultados de los muestreos entre la captación y la restitución. Tras la descarga del efluente tratado del proyecto en el río Carhuello, este recupera su condición inicial, es decir, la concentración antes de la captación dentro de los primeros 100 m. Con el parámetro nitrógeno orgánico ocurre una situación semejante al fósforo orgánico, dado que tanto en el modelo como los resultados de los muestreos muestran un aumento de la concentración, lo que evidencia aportes de fuentes o actividades que distintas de la piscicultura. Tras la descarga del efluente tratado de la Piscicultura Quimeyco, el efluente se diluye en el río Carhuello dentro de los primeros 250 metros.*”

Respecto a estos resultados, es importante destacar que de acuerdo con los antecedentes entregados por el titular en ref. c, no se han adjuntado los anexos de dicho informe, en donde el Anexo 1: Resultados de muestreo de agua, río Carhuello y río Caburgua y el Anexo 2: Informe Hidrológico, río Carhuello, son de especial relevancia para la comprensión de las condiciones de borde y los caudales utilizados en el modelo por lo que dicha información debiese ser solicitada al titular.



Respecto a las condiciones de borde utilizadas por el modelo, se observa en ref. c (Figura 7 y Figura 8) que las concentraciones para Fósforo Orgánico (80% del Fósforo Total de acuerdo a ref. c) y Nitrógeno Orgánico (30% del Nitrógeno Total Kjeldahl (en adelante, NTK) de acuerdo a ref. c) al inicio del tramo modelado, son de aproximadamente 240 ug/L y 400 ug/L, equivalentes a 300 ug/L de Fósforo Total y 1.333 ug/L de NTK respectivamente.

Los órdenes de magnitud de los valores para Fósforo Total y NTK y fechas indicadas en ref. c (mes de febrero de 2019) son similares a los valores reportados para Fósforo Total y NTK reportados en la Tabla 6 de ref. d, por lo que para efectos de esta minuta se asumirá que se utilizaron en la modelación los valores presentados en Tabla 6 ref. d como condiciones de borde para el modelo presentado en ref. c.

El MMA mediante el estudio solicitado a la Universidad de la Frontera (en adelante, UFRO) indicado en ref. l, realizó mediciones en cuerpo de agua para condiciones de borde en río Carhuello en un punto previo a la captación de piscicultura Quimeyco (punto b-20) y en el río Caburgua previo a las descargas de las pisciculturas Caburgua I, Ojos del Caburgua y Carileufu (punto b-19) en las cuales la medición de Fósforo Total es de un orden de magnitud menos que lo reportado en ref. d y el NTK es dos o hasta tres órdenes de magnitud menos que lo reportado en ref. d como se puede observar en la Tabla 13 y Figura 4.

Tabla 13: Comparación entre valores muestreados en río Carhuello y Río Caburgua según ref. d y ref. l.

Est.	Río	Referencia	Coord. X ¹	Coord. Y ¹	NTK (mg/L)	PT (mg/L)	Fecha	Fuente
E1	Carhuello	Aguas arriba captación	254679	5652892	1,39	0,29	13-02-2019	ref. d
E2	Carhuello	Entre captación y restitución	254587	5652722	1,52	0,26	13-02-2019	ref. d
E3	Carhuello	Aguas abajo descarga	254545	5652542	1,56	0,27	13-02-2019	ref. d
E4	Caburgua	Aguas arriba de unión con río Carhuello	254524	5652268	1,33	0,3	13-02-2019	ref. d
E6	Carhuello	Aguas arriba de unión con río Liucura	254661	5652070	1,34	0,42	13-02-2019	ref. d
B-19	Caburgua	Aguas Arriba Descarga Pisciculturas río Caburgua	255341	5652936	<0,009	0,021	26-09-2017	ref. l
B-19	Caburgua	Aguas Arriba Descarga Pisciculturas río Caburgua	255341	5652936	0,052	0,016	10-07-2018	ref. l
B-19	Caburgua	Aguas Arriba Descarga Pisciculturas río Caburgua	255341	5652936	0,015	0,027	26-11-2018	ref. l
B-20	Carhuello	Aguas Arriba Captación Quimeyco	254683	5652891	<0,009	0,018	26-09-2017	ref. l

B-20	Carhuello	Aguas Arriba Captación Quimeyco	254683	5652891	0,057	0,011	10-07-2018	ref. I
B-20	Carhuello	Aguas Arriba Captación Quimeyco	254683	5652891	0,025	0,023	26-11-2018	ref. I

Nota: 1: Coordenadas UTM datum WGS 84, Huso 19S.



Figura 4 Ubicación de puntos de muestreo realizados por Quimeyco (ref. d) y UFRO (ref. I) junto con ubicación de descargas puntuales en zona de descarga de Quimeyco (ref. I)

Las diferencias entre las concentraciones medidas en los cuerpos de agua fluviales que forman parte de la cuenca del lago Villarrica por ref. d y ref. I son sumamente relevantes para la definición de la condición de borde que se haya utilizado para realizar la modelación de ref. c, ya que el escenario considerado en la modelación claramente no correspondería al escenario más desfavorable para determinar la extensión y concentración de la pluma de descarga y el área de impacto de la descarga de la piscicultura Quimeyco. Las magnitudes de las concentraciones para Fósforo Total medidas por UFRO (2020) aguas arriba de la captación de Quimeyco (punto B-20) son al menos 10 veces menores a las reportadas por el titular como condiciones de borde, y para el caso de NTK entre 20 y 1000 veces menores, lo que podría estar subestimando la distancia estimada a la cual se genera la dilución de la descarga de la piscicultura en el río.



De todas las mediciones realizadas por UFRO en ref. I en la cuenca del Río Trancura, solo en una ocasión (punto B-12 el 26-11-2018) se midieron concentraciones de Fósforo Total del orden de las reportadas por Quimeyco en ref. d (superiores a 100 ug/L), y en ninguna de las mediciones se obtuvieron mediciones para NTK del orden de magnitud de las reportadas por Quimeyco (superiores a 1000 ug/L), el máximo valor reportado corresponde a 142 ug/L para el punto b-6 el 27-11-2018 de y el resto de valores reportados en esa cuenca, son todos menores a 100 ug/L.

Adicional a lo anterior, al modelar la confluencia con datos de calidad medidos aguas abajo de las emisiones de pisciculturas que descargan en el río Caburgua, se está incorporando el efecto de dichas descargas sobre el río, y lo modelado corresponderá al efecto sinérgico entre la descarga de piscicultura Quimeyco sumado a las descargas de las pisciculturas que descargan en el río Caburgua y no precisamente a la “dilución” de la descarga de Quimeyco, sino más bien una mezcla entre esta descarga con la de las otras pisciculturas de la zona.

Por lo tanto, los resultados del modelo de ref. c debieran revisarse y, de ser pertinente repetir la modelación, utilizando las condiciones más desfavorables del río (se pueden realizar escenarios considerando los valores medidos en ref. I, o realizar nuevas mediciones con mayor frecuencia y distribución espacial del muestreo de calidad de agua), y verificando si la pluma de la piscicultura Quimeyco llega hasta la confluencia entre el río Carhuello y el río Caburgua, y luego, aguas abajo analizar si las concentraciones de nutrientes en el agua son comparables con las condiciones del río Caburgua, previo a las descargas de las pisciculturas Caburgua I, Ojos del Caburgua y Carileufu, o si aguas abajo de esta restitución la concentración ambiental que se observa en el río es un efecto combinado de las descargas de piscicultura Quimeyco con las pisciculturas que vierten sus RILes al río Caburgua.

4) Principales conclusiones del análisis.

- i) Los aportes de nutrientes, y por ende, la posterior saturación del lago Villarrica, no se debe solamente a la actividad específica de una fuente puntual, si no al efecto conjunto de actividades antrópicas que aportan nutrientes a la cuenca aportante al lago y al lago mismo. En este sentido, a pesar de que todas las fuentes antrópicas de la cuenca puedan estar cumpliendo con los estándares establecido en la norma de emisión vigente, el efecto combinado del aporte de cargas de nutrientes de todas las fuentes antrópicas, pueden provocar la excedencia de la norma secundaria, por lo que la saturación del lago es responsabilidad de todos los actores que mediante emisiones difusas o puntuales aportan nutrientes en algún punto de la cuenca.
- ii) De los resultados obtenidos en la Tabla 8, se concluye que si piscicultura Quimeyco hubiese operado respetando sus consumos de alimento máximos permitidos (180 ton/año) habría aportado entre 10,98 y 14,68 toneladas de Fósforo Total, y entre 57,11 y 64,90 toneladas de Nitrógeno Total menos que las que emitió durante el periodo 2015-2020 (hasta junio de 2020), con sobrecargas máximas para Fósforo Total de entre 3,01 y 4,02 ton/año y para el Nitrógeno Total de entre 15,65 y 17,78 ton/año, correspondientes al año 2019, y sobrecargas promedio entre 1,83 y 2,45



- ton/año para Fósforo Total y entre 9,52 y 10,82 ton/año para Nitrógeno Total.
- iii) De acuerdo al punto 32 del hecho infraccional imputado n°2: modificación de proyecto sin someterse a evaluación ambiental la ref. b, se menciona que para una producción anual de 442 toneladas del año 2019, se obtienen una descarga de 1,25 ton PT/año y 6,5 ton NT/año. De acuerdo a la estimación realizada (ver Tabla 9 y Tabla 10), basado en los consumos de alimentos para dicho año se estimaron descargas entre 4,41 y 5,90 ton PT/año y de entre 22,94 y 26,07 ton NT/año. De acuerdo a la ref. k en el efluente de descarga se encuentra tanto una fracción particulada como disuelta de nutrientes, por lo que ambas fracciones deberían ser consideradas cuando se estime la descarga de nutrientes en el efluente (en estimaciones realizadas por la empresa en ref. b solo se considera la fracción disuelta).
 - iv) Si se considera la carga adicional máxima para Fósforo Total estimada en esta minuta para piscicultura Quimeyco (caso desfavorable, año 2019) de 4,02 ton/año, este valor corresponde a aproximadamente un 3% de la emisión estimada para las pisciculturas de la cuenca para el año 2017, utilizado como año base para el inventario de emisiones del PDAV (115,55 toneladas de acuerdo a ref. a) y a un 4% de la meta de reducción para las pisciculturas de la cuenca establecida en el PDAV (95,45 toneladas de acuerdo a ref. a).

A pesar de que los porcentajes anteriores no parecen ser tan significativos, la condición de saturación del lago no ha sido provocada por una sola fuente puntual, si no por el efecto sinérgico que tienen las emisiones de nutrientes de los distintos actores de la cuenca y que finalmente escurren hacia el lago, por lo que cualquier emisión adicional de nutrientes que se produzca en la cuenca estará aportando a la saturación de este cuerpo de agua, y por ende a la superación de la norma. En este sentido, al analizar los resultados presentados en la Tabla 9 y Tabla 10, donde si se considera el promedio de las cargas durante el periodo 2015-2020 (hasta junio) de piscicultura Quimeyco, la descarga de nutrientes (tanto Fósforo Total como Nitrógeno Total) excede a lo estimado si el consumo de alimentos durante todos esos años hubiese sido de 180 toneladas en un 130% (si con una operación cumpliendo con el límite de producción la piscicultura hubiese descargado 100 unidades de nutrientes en todo el periodo, la sobreproducción estaría provocando que en realidad descargara 230 unidades de nutrientes), lo que presenta un aporte relevante de nutrientes respecto al escenario simulado de cumplimiento por parte de la citada piscicultura de su RCA vigente.

Lo anterior resulta sumamente relevante, ya que si se considera que de acuerdo a ref. l se han identificado al menos 13 pisciculturas operativas con descargas a cuerpos de agua de la cuenca del Lago Villarrica, en caso de que otras empresas del rubro realizaran una sobreproducción de los órdenes que lo ha hecho piscicultura Quimeyco, el aporte de nutrientes al lago Villarrica sería significativamente mayor a los aportes observados actualmente y que han generado la condición de saturación de esta cuenca.

- v) Se destaca que al realizar el cálculo de la biomasa producida a nivel mensual (Ver



- Figura 3) utilizando los valores de ref. g, se obtuvo para los meses de septiembre de los años 2015, 2017 y 2018 valores negativos, de 63,9; 1 y 4,8 toneladas respectivamente. Físicamente no es posible tener una biomasa producida negativa, es por lo anterior que se sugiere solicitar al titular aclaración de estos valores.
- vi) En cuanto a los efectos de la descarga de nutrientes en el Río Carhuello, de la revisión del modelo entregado se desprende que las condiciones de borde utilizadas para desarrollar modelo (Figura 7 y Figura 8 de ref. c) para concentraciones de Fósforo Orgánico (de acuerdo a ref. c, 80% del Fósforo Total) y Nitrógeno Orgánico (de acuerdo a ref. c, 30% del NTK) al inicio del tramo modelado, son de aproximadamente 240 ug/L y 400 ug/L, equivalentes a 300 ug/L de Fósforo Total y 1.333 ug/L de NTK respectivamente.

Al respecto, el MMA mediante el estudio solicitado a la UFRO (2020) indicado en ref. I, realizó mediciones en cuerpo de agua para condiciones de borde en el río Carhuello en un punto previo a la captación de la piscicultura Quimeyco (punto b-20) y en el río Caburgua previo a las descargas de las pisciculturas Caburgua I, Ojos del Caburgua y Carileufu (punto b-19) en las cuales la medición de Fósforo Total es de un orden de magnitud y el NTK es dos o hasta tres órdenes de magnitud menor que lo reportado en el estudio presentado por Quimeyco en ref. d (ver Tabla 13 y Figura 4 para mayor información).

Lo anterior implica que el escenario empleado en la modelación no correspondería al escenario más desfavorable para determinar la extensión de la pluma y el área de impacto de la descarga de la piscicultura Quimeyco. Las magnitudes de las concentraciones para Fósforo Total medidas por UFRO (2020) aguas arriba de la captación de Quimeyco (punto B-20) son al menos 10 veces menores a las reportadas por el titular como condiciones de borde, y para el caso de NTK entre 20 y 1000 veces menores, lo que genera una subestimación de la distancia estimada a la cual se genera la dilución de la descarga de la piscicultura en el río y el efecto del RIL en el cuerpo receptor, indicados en el punto 20 de la ref. b.

Adicionalmente, al modelar la pluma aguas abajo de la confluencia con el Río Caburgua con datos de calidad medidos aguas abajo de las descargas de otras 3 pisciculturas que descargan a dicho río, se está incorporando el efecto de esas descargas sobre el río, y lo modelado corresponde al efecto sinérgico entre la descarga de piscicultura Quimeyco sumado a las descargas de las pisciculturas que descargan en el río Caburgua y no precisamente a la "dilución" de la descarga de Quimeyco (corresponde a la mezcla entre esta descarga con la de las otras pisciculturas de la zona).

Por lo tanto, los resultados del modelo de ref. c debieran revisarse y, de ser pertinente repetir la modelación, utilizando las condiciones más desfavorables del río (se pueden realizar escenarios considerando los valores medidos en ref. I, o realizar nuevas mediciones con mayor frecuencia y distribución espacial del muestreo de calidad de agua), y verificando si la pluma de la piscicultura Quimeyco llega hasta la confluencia entre el río Carhuello y el río Caburgua, y luego, aguas



abajo analizar si las concentraciones de nutrientes en el agua son comparables con las condiciones del río Caburgua, previo a las descargas de las pisciculturas Caburgua I, Ojos del Caburgua y Carileufu, o si aguas abajo de esta restitución la concentración ambiental que se observa en el río es un efecto combinado de las descargas de piscicultura Quimeyco con las pisciculturas que vierten sus RILes al río Caburgua.