



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

# EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA PISCICULTURA EN LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO



Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniero Ambiental**

**ALESSANDRA ANDREA AMPUERO MELO**

Profesor Guía: Dr. Oscar Parra Barrientos

Profesor Co-guía: Dra. Yannay Casas Ledón

Comisión: Dr. Ricardo Figueroa Jara

Concepción, Chile  
2018



**"Evaluación de la huella hídrica de la piscicultura en la cuenca de río Biobío."**

**PROFESOR GUÍA: Dr. OSCAR PARRA BARRIENTOS**

**PROFESOR CO-GUÍA: Dra. YANNAY CASAS LEDÓN**

**PROFESOR COMISIÓN: DR. RICARDO FIGUEROA JARA**

**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima ( En Escala de 5,7 a 7,0)

Concepción, diciembre 2018





*Dedicada a mis seres queridos*

## **AGRADECIMIENTOS**

Todo el tiempo que me llevó a terminar mi carrera no fue en vano, aprendí que si uno se lo propone no hay límites, sólo la mente puede detenerte. La familia, parte importante (sino la más importante) de apoyo y contención para terminar este proceso, fue imprescindible...

Agradezco a todos los profesores del Centro EULA, en especial a mis profesores guías: Oscar Parra, Yannay Casas y Ricardo Figueroa; que además de ser grandes docentes, son grandes personas, que cada día entregan su grano de arena a través de la investigación y la entrega de conocimientos en pos del desarrollo sustentable.



## Tabla de contenidos



<b>Universidad de Concepción</b> .....	1
RESUMEN.....	v
1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.1.1 Objetivo general.....	6
1.1.2 Objetivos específicos .....	7
2 Marco Teórico .....	8
2.1 Problemática asociada al recurso hídrico .....	8
2.2 Consumo y degradación del agua en Chile .....	12
2.3 La cuenca hidrográfica del río Biobío.....	14
2.3.1 Norma secundaria de calidad ambiental para las aguas de la cuenca del río Biobío .....	18
2.3.2 Monitoreo de la calidad de agua de la cuenca del río Biobío.....	20
2.4 Salmonicultura: una actividad en expansión .....	21
2.4.1 Descripción de los salmónidos .....	25
2.4.2 Proceso productivo de la salmonicultura .....	29
2.5 Huella hídrica .....	35
2.5.1 Enfoque del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la Huella Hídrica.....	37
2.5.2 Caso de estudio de huella hídrica en la piscicultura .....	38
3 METODOLOGÍA.....	39
3.1 Objetivos y alcance .....	40
3.2 Unidad funcional.....	43
3.3 Dimensión temporal y geográfica.....	44
3.4 Límites del sistema.....	44
3.5 Datos de inventario.....	47
3.6 Consideraciones realizadas en el estudio.....	48
3.7 Calculo de huella hídrica directa.....	49
3.7.1 Evaluación de la huella hídrica.....	50

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	53
4.1	Balance hídrico de cada centro de cultivo.....	53
4.2	Índice de Impacto Hídrico (WIIX) .....	56
4.2.1	Factor de calidad (Q) .....	56
4.2.2	Cálculo WIIX .....	57
5	CONCLUSIONES.....	61
6	GLOSARIO .....	63
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
8	ANEXOS .....	71

## Índice Figuras

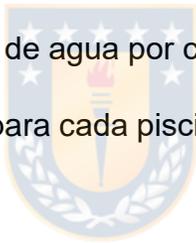
<b>Figura 1.</b>	Resumen del proceso productivo de una piscicultura en relación con el uso de agua.....	2
<b>Figura 2.</b>	Distribución del agua en el planeta.....	9
<b>Figura 3.</b>	Distribución del uso de agua en Chile por sector productivo.....	13
<b>Figura 4.</b>	Principales zonas ecológicas acuáticas en la cuenca del Biobío.....	15
<b>Figura 5.</b>	Mapa de la cuenca del río Biobío y las 14 áreas de vigilancia definidas por el D.S. 9/2015.....	19
<b>Figura 6.</b>	Parámetros regulados en la NSCA del río Biobío y sus límites de concentración por área de vigilancia.....	20
<b>Figura 7.</b>	Evolución de exportaciones de salmónidos en Chile desde el año 2006 hasta el 2016.....	22
<b>Figura 8.</b>	Clasificación taxonómica de Salmónidos.....	25
<b>Figura 9.</b>	Ilustración de Salmón del Atlántico ( <i>Salmo Salar</i> ) adulto.....	26
<b>Figura 10.</b>	Ilustración de Salmón del Pacífico o Coho ( <i>Oncorhynchus kisutch</i> ) adulto.....	28
<b>Figura 11.</b>	Ilustración de Trucha Arcoiris ( <i>Oncorhynchus mykiss</i> ) adulta.....	29

<b>Figura 12</b> Desove de reproductores.....	31
<b>Figura 13</b> Ovas fertilizadas.....	31
<b>Figura 14</b> Primeros alevines.....	32
<b>Figura 15.</b> Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica.....	37
<b>Figura 16.</b> Esquema de las etapas para el cálculo de huella hídrica.....	39
<b>Figura 17.</b> Mapa de los centros de cultivo de salmónidos encontrados en la cuenca del río Biobío al año 2016, y las catorce áreas de vigilancia asociadas establecidas por D.S. N°9/MMA.....	41
<b>Figura 18.</b> Límites del sistema productivo de salmónidos en la fase de agua dulce.....	45
<b>Figura 19.</b> Capa de Google Earth con valores de WSI .....	52
<b>Figura 20.</b> Huella hídrica equivalente por piscicultura.....	55
<b>Figura 21.</b> Resultados del impacto hídrico por piscicultura.....	58
<b>Figura 22.</b> Sistema de recirculación de agua en la acuicultura .....	60
<b>Figura 23:</b> Acuicultura multitrófica integrada.....	61

## Índice Tablas

<b>Tabla 1:</b> Nombre pisciculturas operando en la cuenca del río Biobío.....	6
<b>Tabla 2:</b> Exportación chilena de salmón y trucha entre 2007 hasta 2016.....	23
<b>Tabla 3:</b> Exportación por especie en toneladas netas de salmón y trucha.....	23
<b>Tabla 4:</b> Mercado principal de salmón y trucha.....	24

<b>Tabla 5:</b> Composición química del alimento para los salmónidos.....	33
<b>Tabla 6 :</b> Tiempo aproximado del ciclo productivo de salmónido en etapa de agua dulce.....	34
<b>Tabla 7:</b> Características principales de las pisciculturas encontradas en la cuenca del río Biobío.....	43
<b>Tabla 8 :</b> Características principales de los centros piscícolas en estudio.....	44
<b>Tabla 9:</b> Clasificación de datos de inventario y su fuente.....	47
<b>Tabla 10:</b> Límites de parámetros utilizados como Concentración de referencia (Cref) en el cálculo de huella hídrica por área de vigilancia.....	51
<b>Tabla 11:</b> Inventario de usos de agua por centros de cultivos.....	54
<b>Tabla 12:</b> Factor de calidad para cada piscicultura.....	57



## RESUMEN

El objetivo de esta tesis es cuantificar el impacto del uso de los recursos hídricos existentes en una cuenca hidrográfica por parte de la piscicultura, tanto en la cantidad como calidad. Se consideró como caso de estudio la cuenca del río Biobío debido a que posee múltiples usuarios del agua y en la zona de rítrón y transición se emplazan trece centros de cultivo de salmones, que captan agua y luego la descargan en los cuerpos de agua de la cuenca. Para llevar a cabo el estudio, se utilizó como metodología la ISO 14.046, para calcular la huella hídrica de los distintos centros productivos de salmónidos emplazados en la cuenca del río Biobío y así conocer cuál posee un impacto negativo ya sea sobre la calidad o cantidad de agua de cada cuerpo de agua asociado a la piscicultura. Finalmente, la piscicultura el Peumo fue aquella que obtuvo el impacto negativo mayor alcanzando 1.101.495 m<sup>3</sup> equiv/año, posiblemente debido a que es el único centro que se desarrolla en una laguna artificial y posee un sistema de tratamiento de agua inferior por ser unos de los centros más antiguos de la zona.

Palabras claves: Huella hídrica, piscicultura, cuenca hidrográfica, río Biobío

## 1 INTRODUCCIÓN

La problemática en torno al agua se ha incrementado en las últimas décadas en todo el mundo, aspectos como la cantidad y la calidad de ésta se han visto mermadas a causa de la intervención antrópica y el cambio climático, principalmente.

El volumen de agua utilizado por la industria es bajo: constituye menos de un 10% del total de extracciones de agua. Sin embargo, la industria ejerce una acusada presión sobre los recursos hídricos, no tanto por la cantidad de agua consumida en la propia producción, sino más bien por los impactos derivados de los vertidos de aguas residuales y de su potencial contaminante (WWDR3, 2009)

En este contexto, la salmonicultura es una actividad que posee una demanda en aumento a nivel mundial, considerada como una actividad de uso no consuntivo del agua y que podría estar generando, o generar en un futuro cercano, un impacto sobre los recursos hídricos que no ha sido prevista ya sea sobre la calidad o la disponibilidad de este importante recurso.

Según el código aduanero del total de exportación de alimentos en Chile el 10% corresponde a la industria de salmónidos, la que durante los últimos 20 años se ha consolidado como un productor de salmón a nivel mundial. Los principales países con mayor relevancia en el mercado salmonícola (de mayor a menor) son Noruega, Chile, Reino Unido y Canadá.

En Chile, esta actividad genera el 3,5% del PIB (SUBPESCA, 2014) y se encuentra concentrada en el sur de nuestro país. Sin embargo, debido a la demanda mundial de productos alimenticios para el consumo humano y las problemáticas ambientales sucedidas en 2007 (crisis virus ISA) y 2016 (mortandad masiva de salmónidos), se prevé que se expanda hacia el centro sur de nuestro país, alcanzando territorios con aptitudes para el desarrollo de esta

actividad, como la región del Biobío. En esta región ya existe la actividad salmonícola, pero sólo se realiza la fase de agua dulce conocida como piscicultura, emplazada mayormente en la zona alta de la cuenca del río Biobío, debido al requerimiento de aguas claras y bien oxigenadas para el adecuado desarrollo de los peces. La piscicultura como la mayoría de los procesos productivos utilizan agua en sus operaciones, captando agua y luego descargando sus efluentes en los cuerpos de agua asociados a cada centro de cultivo, como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Resumen del proceso productivo de una piscicultura en relación con el uso de agua.

Fuente: Elaboración propia

El tema del agua y su gestión se ha convertido de manera progresiva en un punto primordial en el debate sobre el desarrollo sostenible. Este interés se ha impulsado por el crecimiento de la demanda de agua, las interacciones que se generan entre los diversos usos y los diversos usuarios en una misma cuenca, como es el caso de la cuenca del río Biobío, el incremento de la escasez de agua en muchas áreas y/o en la degradación de la calidad del agua. Esto lleva a la necesidad de un mejor entendimiento de los impactos relacionados con el agua como una base para mejorar la gestión del agua a nivel local, regional, nacional y global (ISO 14.046/2014). El uso de agua dulce por actividades humanas frecuentemente lleva a disminuir la disponibilidad del recurso o a contaminar cuerpos de agua que reciben descargas.

Una forma de cuantificar el impacto que pueden generar las actividades humanas sobre el recurso hídrico es la Huella Hídrica (HH), concepto que se originó en 2002 y que en 2014 se validó internacionalmente a través de la ISO 14.046. La huella hídrica es una herramienta que ayuda a evaluar los riesgos asociados al uso del agua, y a partir de estos, desarrollar estrategias que permitan mitigarlos (Fundación Chile, 2016). Por lo tanto, en esta tesis se pretende estudiar si una actividad productiva en aumento como la piscicultura ejerce un impacto sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Biobío siguiendo las directrices de la huella hídrica.

## **1.1 Planteamiento del problema**

Durante las tres últimas décadas la situación de los recursos hídricos en Chile ha estado más influenciada por la estrategia de desarrollo nacional, políticas macroeconómicas, entre otros; que por el propio sector del agua (Banco Mundial, 2011). El papel fortalecedor del mercado y el fomento de una economía orientada a la exportación basada en productos como el cobre, la fruta fresca, la madera y su pulpa, el salmón, y el vino (todo lo cual usa agua en sus procesos

de producción) han llevado a un importante aumento del uso del agua, en particular en las cuencas relativamente pobres en agua de las partes norte y central del país (Banco Mundial, 2011). Al mismo tiempo, se está limitando la disponibilidad de agua por descenso en su calidad en algunas cuencas, y por los efectos del cambio climático que añadirán un estrés adicional a estos territorios (Banco Mundial, 2011).

La cuenca del río Biobío es una de las más intervenidas de nuestro país debido a múltiples actividades productivas tales como la hidroeléctrica, silvoagropecuaria y agua potable; recreación y habitacional (Dynesius & Nilsson, 1994). El uso múltiple del recurso hídrico en la cuenca representa una fracción importante del PIB regional alcanzando los \$610 mil millones de pesos representando el 14,3 % del total (ODEPA, 2018), por lo tanto, un soporte estratégico de la Región. El sistema fluvial de la cuenca del río Biobío es la principal fuente de abastecimiento de agua potable de la región del Biobío, por lo tanto, es imprescindible la mantención y regulación de la calidad y disponibilidad del agua en la región.

En 2016, un estudio realizado por el Centro EULA de la Universidad de Concepción, determinó que varios parámetros regulados por el D.S. N°9/2015 (normativa que regula la calidad del agua superficial de la cuenca del río Biobío), han sobrepasado los límites establecidos por este decreto, en general nutrientes como Nitrógeno (y sus derivados) y Fosforó total. Este hecho requiere una profundización para evitar un deterioro permanente del recurso hídrico del sector lo que pueda conllevar a un futuro plan de descontaminación del recurso hídrico en la cuenca.

Una de las actividades económicas más relevantes de nuestro país por su nivel de producción y exportación es la pesca y acuicultura, sector que ha incrementado su desarrollo en nuestro país por las condiciones ambientales favorables que este presenta. A nivel mundial, la acuicultura en 2012 estableció

otro máximo histórico y, ahora, proporciona casi la mitad del pescado destinado a la alimentación humana (FAO, 2014), y se prevé que esta proporción aumentará un 62% para el año 2030, debido a la estabilización de las capturas pesqueras y al aumento considerable en la demanda de pescado de cautiverio, como el salmón.

En Chile, la producción de salmónidos se ha expandido significativamente en los últimos 20 años, representando cerca de un 25% de la producción mundial, lo que posiciona al país en el segundo lugar en el ranking de productores. Las regiones con mayor producción piscícola se encuentran en el sur de Chile, pero ahora existe una razón que ha motivado a las compañías a mirar hacia el norte de la Región de Los Lagos, la adversa situación sanitaria que deben enfrentar los peces engordados en las aguas del sur austral del país. Una de estas zonas más al norte es la región del Biobío que posee características suficientes para satisfacer el aumento de la producción de salmónidos, como disponibilidad de agua dulce, una línea de costa de casi 600 km de extensión con diversas bahías y golfos, plantas de procesamiento de alto nivel, logística vial y portuaria altamente desarrollada (AQUA, 2015). Esto significa que esta región es un punto estratégico para la salmonicultura. Si bien luego de los problemas sanitarios y ambientales relacionados con los centros de cultivo de salmónidos ocurridos en el sur de nuestro país (Crisis virus ISA en 2007 y mortandad masiva de salmónes en 2016), el banco Nordea estima que para 2019 la producción de salmónes volverá al alza, registrando 456.000 toneladas de salmónidos anual (AQUA, 2016). Actualmente, existen en trámite de aprobación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) varios centros de cultivo en la región, tanto en el mar como en aguas dulces, y varios aprobados en el mismo sistema y operando en las zonas altas y medias de la cuenca del río Biobío, pudiendo afectar la calidad y cantidad del recurso hídrico en la zona. Algunos de los proyectos aprobados y sin construir dentro de la cuenca del río Biobío son la piscicultura Santa Teresa y Pitirilón, la última actualmente en conflicto

socioambiental con la comunidad indígena del Alto Biobío. Por otro lado, existen once pisciculturas en operación en la cuenca del río Biobío, mencionadas en la Tabla 1, y se encuentran concentradas en la comuna de los Ángeles.

**Tabla 1.** Nombre pisciculturas operando en la cuenca del río Biobío.

Nombre Piscicultura	Comuna
Campamento Viejo	Antuco
Coreo	Los Angeles
El Peumo	Los Angeles
Caliboro	Los Angeles
STH	Los Angeles
Kudiñam	Los Angeles
Ketrun Rayen	Los Angeles
Pichicoreo	Quilleco
Polcura	Tucapel
El Peral	Tucapel
Valle del Laja	Tucapel

Fuente: Elaboración propia a partir de datos entregados por SERNAPESCA y SMA en el año 2016.

Con base en lo anterior, nace la siguiente pregunta ¿Cuál es el impacto potencial del sector piscícola sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Biobío?

Por lo tanto, se plantea el siguiente objetivo:

### 1.1.1 Objetivo general

Evaluar la huella hídrica de la piscicultura en la cuenca del río Biobío durante el año 2016.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar objetivos y alcance del sistema a evaluar (piscicultura) según metodología ISO 14.046
- Realizar un inventario de entradas y salidas de cada centro de cultivo
- Calcular la huella hídrica para cada piscicultura
- Evaluar los impactos relacionados con el consumo y degradación de la calidad del agua

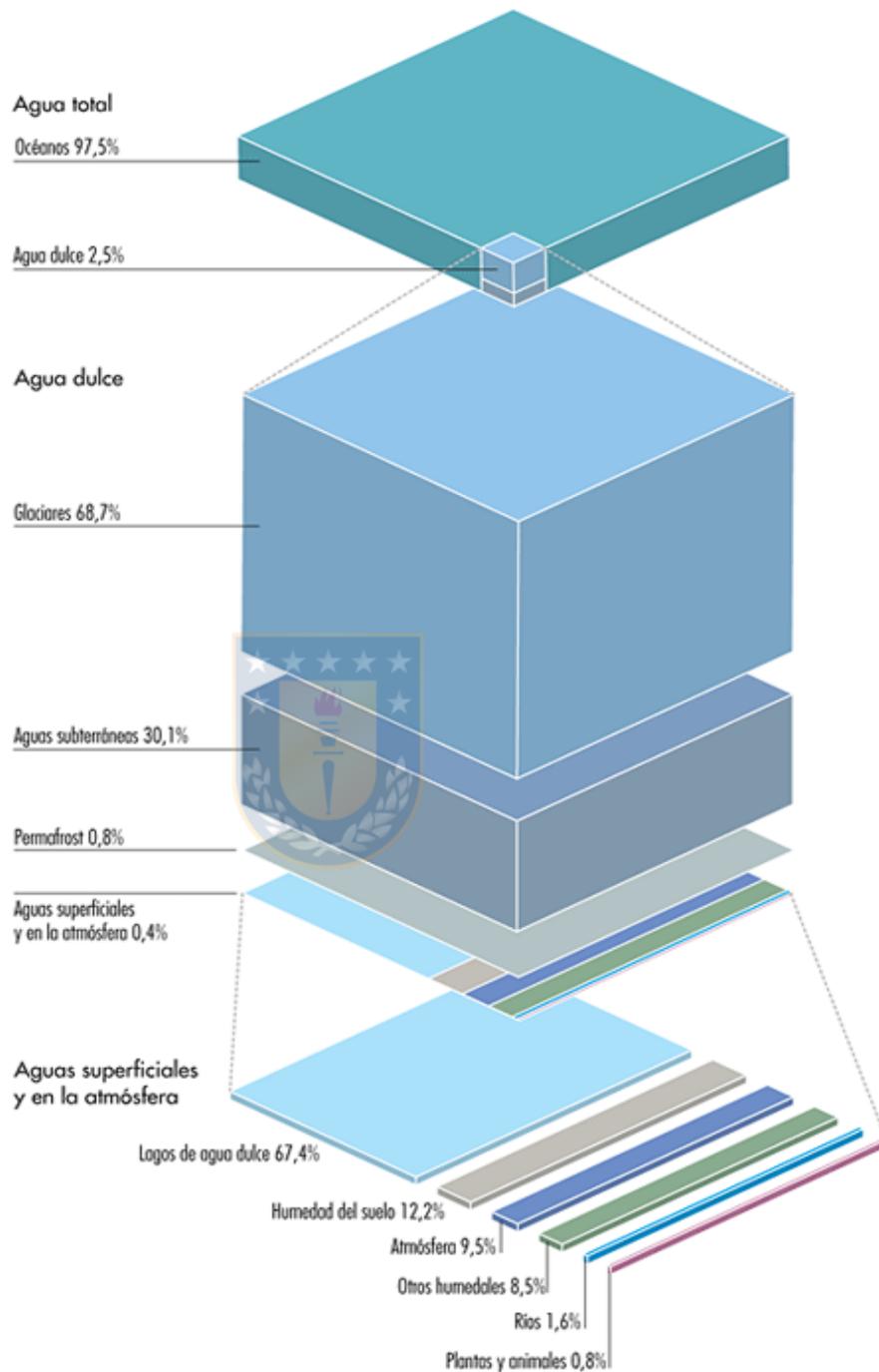


## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Problemática asociada al recurso hídrico**

La Tierra es un planeta de abundante agua, ya que del total de su superficie un 71% corresponde a este importante recurso, pero del agua que posee el 97,5% del total de agua pertenece a los océanos, es decir, es salada y su uso no puede ser directo. El 2,5% restante corresponde a aguas dulces, aunque de esta cifra, el 75% está presente en estado sólido en glaciares, considerados como grandes reservas hídricas prácticamente inaccesibles para el hombre. El agua fresca disponible para uso humano, agrícola, industrial y otros, que está presente en ríos, lagos y acuíferos subterráneos, sólo equivale al 0,62% del total (DGA/MOP, 2016).





**Figura 2.** Distribución del agua en el planeta.

Fuente: Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP) de la Unesco, está basado en datos publicados por los profesores Igor A. Shikolomanov y John C. Rodda en 2003.

De este bajo porcentaje de agua disponible, como se puede observar en la Figura 2, son preocupantes las problemáticas relacionadas al poco cuidado de las fuentes efectivamente disponibles, debido a la sobreexplotación de los recursos hídricos. Es el caso, por ejemplo, de los acuíferos que se agotan cada vez más, pues estos abastecen de agua potable por lo menos al 50% de la población mundial y representan el 43% de toda el agua utilizada para el riego (FAO, 2010; WWDR, 2015).

Los conflictos asociados a la sobreexplotación del agua se deben a que los recursos hídricos disponibles además de encontrarse en baja cantidad en el planeta, son afectados por el mencionado cambio climático, disminuyendo las precipitaciones anuales e incremento del deshielo de reservas de agua dulce por aumento de la temperatura, entre otros (DGA/MOP, 2016); además se ven afectados por el gran crecimiento demográfico y la industrialización que provee un aumento de la producción y el consumo, lo que ha generado una demanda de agua dulce cada vez mayor. No obstante, la oferta de agua es finita, lo que ha significado que se produzca escasez hídrica en algunos sectores más críticos, debido a que el agua no se distribuye de manera equitativa para todas las regiones del mundo. Prueba de ello, es que del 31% de los recursos de agua dulce disponible en el mundo, la cantidad de agua que tiene América Latina por persona es 12 veces mayor que la del sur de Asia (PNUD, 2006).

Por otro lado, la situación mundial en relación con la escasez hídrica, acorde al Informe de las Naciones Unidas sobre desarrollo humano (2006), muestra un índice desarrollado por hidrólogos que relaciona el agua y la población para evaluar los niveles de escasez hídrica. Este índice muestra que alrededor de 700 millones de personas en 43 países viven por debajo del umbral de estrés de agua, entendiéndose de que por debajo de los 1.000 metros cúbicos por persona al año representa un estado de “estrés por falta de agua”, y por debajo de los 500 metros cúbicos por persona al año, “escasez absoluta”. Medio

Oriente es uno de los sectores más afectados por escasez hídrica, con una disponibilidad promedio anual de aproximadamente 1.200 metros cúbicos por persona.

En un futuro, el Informe de Las Naciones Unidas sobre el desarrollo mundial del agua (2015), señala que se proyecta para el año 2050 que la demanda de agua incremente en un 55%, principalmente debido a las crecientes demandas de la manufactura, generación térmica de electricidad y uso doméstico. Esto generará aún más conflictos en cuanto a escasez del recurso hídrico debido a que además de ser un recurso vital para toda la humanidad, es significado de fuentes de empleos e influye fuertemente en las economías mundiales y en los procesos productivos mundiales. La mitad de la mano de obra mundial está empleada en ocho sectores que dependen del agua y de los recursos naturales: agricultura, bosques, pesca, energía, producción con uso intensivo de recursos, reciclaje, construcción y transportes (WWDR, 2016), lo que significará grandes esfuerzos por cubrir las demandas estimadas al 2050.

El agua para consumo humano una vez que ya se ha utilizado, se devuelve a los cauces naturales. Estos flujos de retorno están generalmente saturados de nutrientes, contaminantes y sedimentos. Suele ocurrir además que tienen más temperatura que las aguas que las reciben. En el caso de los países tercermundistas el noventa por ciento de las aguas servidas que produce se descarga sin tratamiento alguno a ríos, esteros y zonas costeras. La contaminación al reducir la calidad del agua genera aún menos disponibilidad de agua e impactos sobre los ecosistemas y las especies que también utilizan el recurso. (Contreras, 2011; Barlow, 2009). Debido a las cargas de nutrientes en algunas de las descargas se espera que la eutrofización de las aguas superficiales y las zonas costeras aumente en casi todas partes para el año 2030.

Sumado a esto, la contaminación trae consecuencias en lo que respecta al uso de agua para consumo humano. La Organización Mundial de la Salud ha

informado que 700 millones de los 1,3 billones de habitantes de China bebe agua que no alcanza a cumplir los requisitos más básicos de seguridad que establece dicha organización internacional (Barlow, 2009).

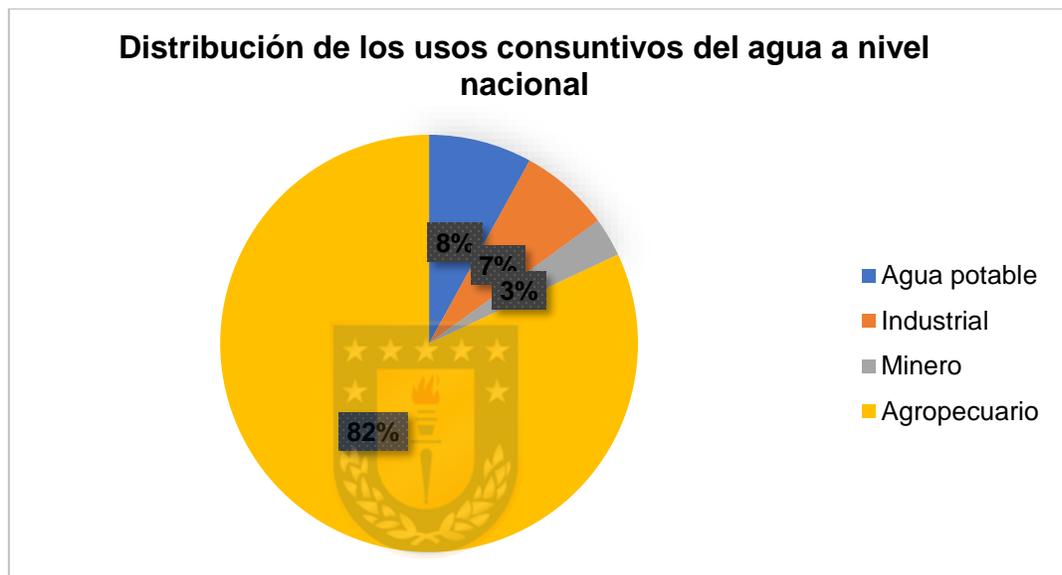
## **2.2 Consumo y degradación del agua en Chile**

En lo que respecta a Chile, es uno de los países privilegiados en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos superficiales a nivel mundial, puesto que presenta una escorrentía media total (el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurren por los cauces superficiales y subterráneos) que equivale a un promedio nacional per cápita de 51.218 m<sup>3</sup>/persona/año, valor bastante más alto que la media mundial de 6.600 m<sup>3</sup>/persona/año y muy superior al valor de 2.000 m<sup>3</sup>/persona/año considerado internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible (Banco Mundial, 2010; MOP/DGA, 2016). Asimismo, Chile posee grandes reservas de agua en Campos de Hielo Norte y Sur, en la zona austral. Sin embargo, al igual que a nivel mundial el agua está irregularmente distribuida a nivel nacional, debido a la diversidad geográfica y climática del territorio. Desde la Región Metropolitana hacia el norte, la escorrentía per cápita promedio está por debajo de los 500 m<sup>3</sup>/persona/año, mientras que las regiones de O'Higgins hacia el sur superan los 7.000 m<sup>3</sup>/persona/año, llegando a un valor de 2.950.168 m<sup>3</sup>/persona/año en la Región de Aysén (PNUD 2006; MOP/DGA, 2016).

Sumados todos los usos consuntivos del agua, el consumo nacional llega a 4.710 m<sup>3</sup> /s (Ayala, 2010). El mayor usuario de agua en Chile es la agricultura, con un 73% del total nacional, lo que abastece a una superficie regada de 1,1 millones de hectáreas entre las regiones de Coquimbo a Los Lagos (INE, 2007). Un 6% del consumo es agua para fines domésticos. Los usos mineros alcanzan al 9% y los industriales al 12% (Ayala, 2010). En muchas regiones del país los derechos de aprovechamiento existentes superan a la disponibilidad real del recurso, lo

que ha llevado a declarar numerosas regiones como agotadas tanto en sus aguas superficiales como subterráneas (Banco Mundial, 2011).

Además, Chile cuenta con gran variedad de actividades productivas, que en relación a su consumo de agua es muy variado, siendo el sector agropecuario el que mayor consumo de agua posee, con un 82% del consumo total de agua.



**Figura 3.** Distribución del uso de agua en Chile por sector productivo.

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA/MOP, 2016

La contaminación de los cursos y cuerpos de agua de Chile tiene orígenes naturales y provocados por el hombre. Existe un nivel de contaminación natural importante de las aguas debido a fenómenos volcánicos, suelos salinos y estratos metalogénicos entre otros. De hecho, en diferentes partes del país, la calidad natural de las aguas sobrepasa los niveles máximos establecidos en la norma vigente por uso humano (por ejemplo: arsénico y salinidad) o riego (por ejemplo: boro) (Contreras, 2010). También, y a pesar de las iniciativas tendientes a proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas, existe una contaminación causada por el hombre en la mayoría de los cursos de agua, con excepción de las zonas de cabecera (Contreras, 2010). En este contexto, existen

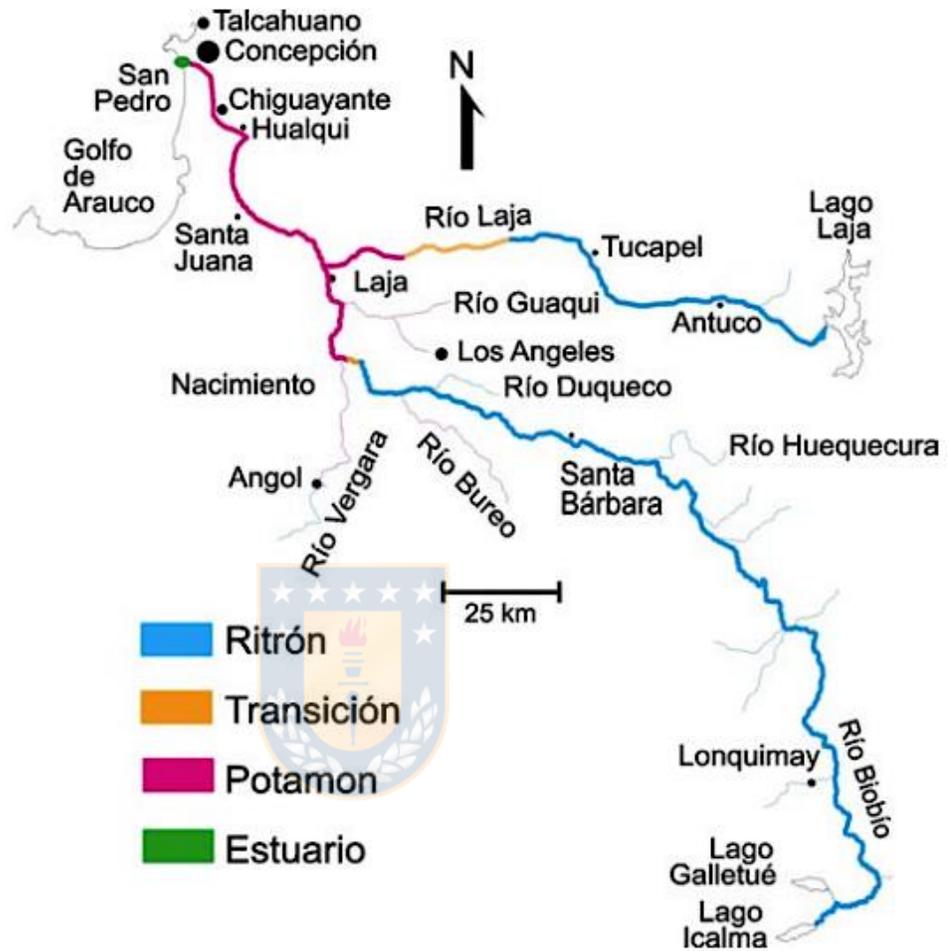
las normas secundarias de calidad ambiental que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza (D.S. N°38/2013).

### **2.3 La cuenca hidrográfica del río Biobío**

La cuenca del río Biobío es una de las más intervenidas de nuestro país debido a múltiples actividades industriales, recreación y vivienda, donde la variación del régimen natural de caudales y la disminución de la calidad del agua son los elementos más afectados (Nilsson et al., 2005; EULA, 2013).

La cuenca del Biobío se ubica geográficamente entre los 36° y 39° Sur; 71° y 73° Oeste en la zona centro sur de Chile, compartiendo territorio entre las regiones del Biobío y Araucanía, el 71% de la superficie de la cuenca está ubicada dentro de la Región del Biobío, mientras el restante 29% se encuentra en la Región de la Araucanía. Es la tercera más grande del país, alcanzando un área de 24.369 km<sup>2</sup> (DGA, 2016) y corresponde aproximadamente al 3% de la superficie continental del país.

El río Biobío es el cauce principal de esta cuenca, siendo el segundo más largo y caudaloso de Chile (Saavedra & López, 2006) y posee una longitud de 380 km con dirección SE-NO desde su origen en los lagos Icalma y Galletué, en la zona precordillerana, hasta su desembocadura en el norte del golfo de Arauco. En el sistema fluvial del río Biobío se distinguen las zonas ecológicas rítrón, transición y potamón (representados en la figura más abajo), que son determinantes para reconocer y comprender los factores que inciden en la calidad del agua y en la distribución de la biota acuática.



**Figura 4.** Principales zonas ecológicas acuáticas en la cuenca del Biobío.  
 Fuente: La cuenca del río Biobío: Historia natural de un ecosistema de uso múltiple (Valdovinos y Parra, 2006).

Debido a la concentración de asentamientos humanos y de la actividad industrial y productiva, la zona baja de la cuenca, es decir, la zona ecológica potamón posee la peor calidad del agua de la cuenca. Sin embargo, estudios recientes mencionados posteriormente indican que en la zona de transición está

disminuyendo la calidad de sus aguas, lo que significaría un área importante de estudio a corto plazo.

En lo que respecta a los usos de agua en la Cuenca del río Biobío, desde las nacientes hacia la desembocadura, destaca lo siguiente (Parra et al., 2013):

- a) Provisión de agua para una población de 970.000 habitantes, de los cuales 745.000 habitantes, se abastecen de aguas superficiales y 225.000 habitantes de aguas subterráneas.
- b) Producción actual de 2.337 MW como energía hidroeléctrica (aprox. Entre el 35 y 40% del consumo hidroeléctrico nacional) generado en 3 centrales de embalse y 13 de paso.
- c) Riego de 211.800 hectáreas a través de una red de canales que conducen aprox. 158,5 m<sup>3</sup>/seg y con un número total de usuarios que alcanzan a 6.700 personas.
- d) Pesca deportiva en lagos y lagunas cordilleranas (Icalma, Galletué, Laja, Malleco y el Barco), así como también a lo largo de más de 150 km del mismo río Biobío y de los afluentes Laja, Lonquimay, Pangué, Huequecura y Duqueco.
- e) Camping y recreación con contacto directo en más de veinte sectores con infraestructura dedicada, ubicados en el río y sus principales cuencas afluentes, así como también en innumerables sectores informales aprovechados para estos fines por turistas y comunidad ribera.
- f) Turismo de paseo que aprovecha la combinación del paisaje y el río, disponible en toda la extensión de la cuenca.
- g) Abastecimiento de agua para industria alimentaria, forestal, pisciculturas, petroquímica, curtiembre y siderúrgica, con una producción de miles de toneladas por día que aportan más del 50 % del PGB regional.
- h) Depuración: receptor de efluentes industriales (aprox. 11 m<sup>3</sup>/s) y de efluentes domésticos tratados provenientes de 17 localidades urbanas

correspondientes a 756.000 habitantes, con un caudal medio descargado de 1,6 m<sup>3</sup>/s. Además de los aportes difusos producto de la actividad agrícola.

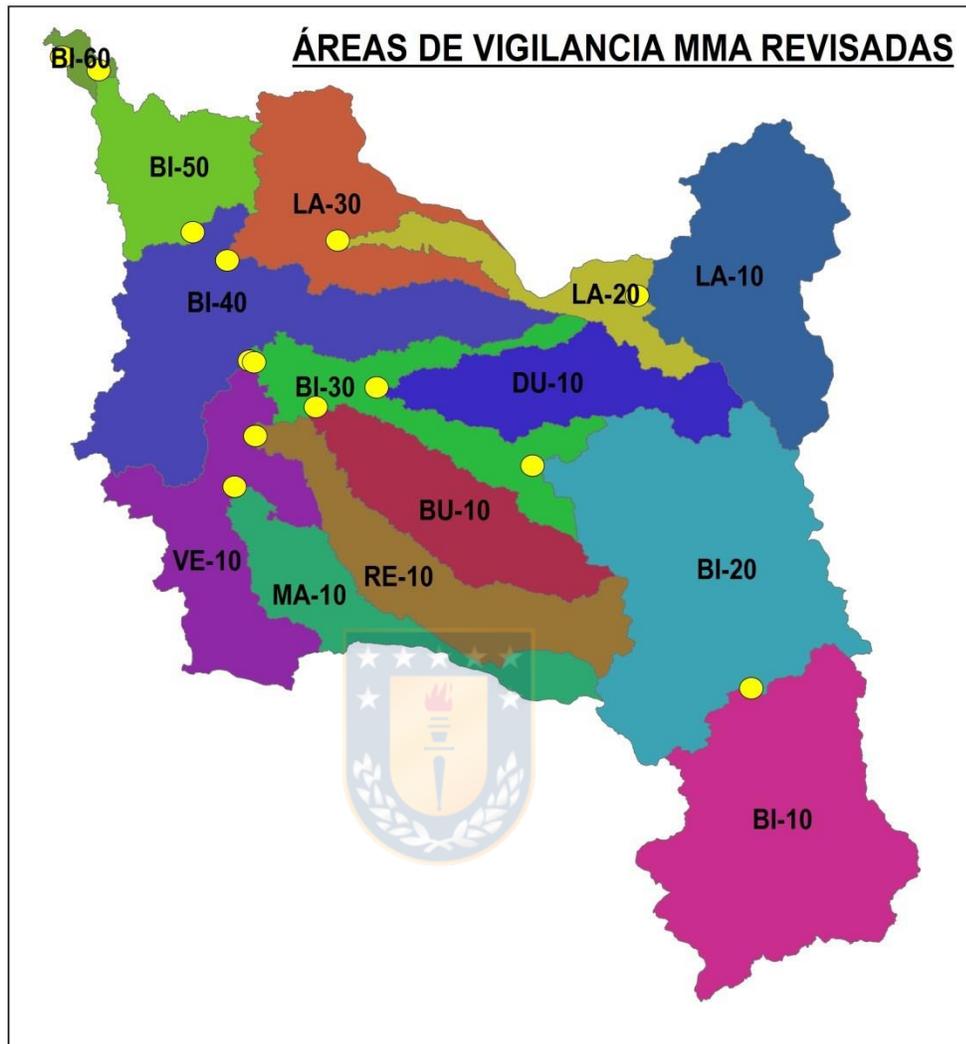
Este uso múltiple del recurso hídrico representa una fracción relevante del PIB regional, sólo considerando el PIB silvoagropecuario alcanza el 14,3% del PIB regional (ODEPA, 2018), generando la necesidad de conocer el estado y la evolución de la calidad ambiental del recurso hídrico que representa el soporte estratégico de la Región (Parra 1996, Parra et al., 2013). La permanente actualización de su condición no solo corresponde a un aspecto ambiental relevante de la Región; sino además es un indicador de la calidad de vida de gran parte de la población de la Región del Biobío (Parra et al., 2013). Dentro de las actividades económicas destacadas que utilizan consuntivamente (consumen) el recurso hídrico en esta cuenca se encuentra: agricultura, ganadería, silvicultura, abastecimiento de agua potable, centrales hidroeléctricas, industria, entre otros; generando un PIB regional de 10.155 mil millones de pesos (ODEPA, 2018) en el año 2015.

La cuenca hidrográfica del río Biobío contiene 15 subcuencas menores, sometidas a la influencia de distintos ambientes y factores geográficos; por lo tanto, la dinámica del sistema es muy variable desde el inicio de su curso hasta su desembocadura. De estas subcuencas, las principales corresponden a la del Alto Biobío y las de los ríos Duqueco, Bureo, Vergara y Laja (EULA, 2016), donde se encuentran concentrados las distintas actividades y asentamientos humanos. La piscicultura se encuentra concentrada mayormente en la subcuenca del río Laja, también existen centros en la subcuenca del río Duqueco y Bureo; en donde se halló superación de los límites regulados en el D.S. N°9/2015 de algunos nutrientes (Fósforo y Nitrógeno) especialmente.

### **2.3.1 Norma secundaria de calidad ambiental para las aguas de la cuenca del río Biobío**

Las aguas de la cuenca del río Biobío cuentan desde el 27 de noviembre del año 2015 con normas secundarias de calidad ambiental, esta norma se establece con el objetivo de conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos, a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de las aguas de la cuenca (D.S. N°9/2015). Es un instrumento regulatorio que ha permitido a su vez iniciar el monitoreo para controlar en 14 puntos geográficos (áreas de vigilancia), parámetros importantes en el proceso de eutrofización y otros que pueden por su toxicidad afectar o modificar de manera importante las condiciones del ecosistema acuático y, en consecuencia, del medio ambiente.





**Figura 5.** La cuenca del río Biobío y sus 14 áreas de vigilancia definidas por el D.S. 9/2015.

Fuente: MMA, 2016

Los parámetros regulados por la NSCA de las aguas del río Biobío se especifican más abajo.

Tabla 2: Niveles de calidad ambiental por área de vigilancia en la cuenca del río Biobío

N°	Contaminante	Unidad	BI-10	BI-20	BI-30	BI-40	BI-50	BI-60	BU-10	DU-10	LA-10	LA-20	LA-30	MA-10	RE-10	VE-10
1	Aluminio Total	mg/l	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
2	Amonio	mg N/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
3	Compuestos Orgánicos Halogenados	mg/l	0,002	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,02	0,002	0,006	0,01	0,002	0,002	0,03
4	Cloruro	mg/l	3	7	7	8	8	-	4	4	3	3	3	4	5	6
5	Coliformes Fecales	NMP/100ml	50	50	500	500	1000	1000	1000	1000	50	50	500	50	50	500
6	Conductividad Eléctrica	µS/cm	80	90	150	150	150	-	80	120	80	95	150	60	60	80
7	Demanda Biológica de Oxígeno	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5	5	8	8	5	7	9	6	3	3	8	6	7	10
9	Fósforo Total	mg/l	0,03	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,02	0,02	0,1	0,03	0,02	0,06
10	Hierro Total	mg/l	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4
11	Índice Fenol	mg/l	0,003	0,004	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,004
12	Nitrato	mg N/l	0,03	0,03	0,15	0,15	0,15	0,2	0,2	0,2	0,04	0,03	0,15	0,04	0,03	0,2
13	Nitrito	mg N/l	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,01	0,006	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,01
14	Nitrógeno Total	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,6	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,4
15	Ortofosfato	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,1	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05
16	Oxígeno Disuelto	mg/l	10	10	9	9	8,7	8,7	9	9	9	8,7	8,7	10	9	9
17	pH	-	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
18	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	8	4	7	8	9	8	10	5	2	2	5	5	5	6
19	Sulfato	mg/l	5	6	6	14	14	-	5	5	7	6	6	5	5	10

Figura 6. Parámetros regulados en la NSCA del río Biobío y sus límites de concentración por área de vigilancia.

Fuente: D.S. N°9/2015

Cabe destacar que el Análisis General del Impacto Económico y Social (AGIES) desarrollado para la aplicación de las normas de calidad, estima un costo de aproximadamente 0,3 millones de dólares por concepto de monitoreo y de 3,8 millones de dólares anuales asociados a la eventual implementación de un plan de descontaminación del agua superficial en la cuenca.

### 2.3.2 Monitoreo de la calidad de agua de la cuenca del río Biobío

A través del último estudio de calidad de las aguas superficiales del río Biobío titulado “Monitoreo para la vigilancia de la norma secundaria de calidad

de aguas de la cuenca del río Biobío” elaborado por el Centro EULA en 2016, se determinó que varios de los parámetros normados no cumplen con los límites máximos de concentración estipulados en el D.S. n°9/2015 MMA. En anexos se adjuntan las tablas con los resultados de los muestreos.

Como se observa en dichos resultados, en varias áreas de vigilancia se han sobrepasado los límites permitidos de nutrientes como Nitrógeno total, Fósforo total, Nitrato y Ortofosfato, principalmente.

Una actividad encontrada en las áreas con superación de los límites de los parámetros anteriormente dichos es la piscicultura, parte de la acuicultura de peces en su fase de agua dulce, la que podría constituir una fuente importante de nutrientes, pues el proceso de alimentación y tratamiento sanitario de los peces en centros de cultivos localizados en ríos y lagos produce un aumento de la carga de nutrientes y materia orgánica, con el consiguiente incremento en el estado trófico de las aguas (Banco Mundial, 2011). Así mismo se disponen productos orgánicos persistentes (p.ej. medicamentos, compuestos sanitarios), los cuales además de contaminar el agua pueden producir cambios en la susceptibilidad de las poblaciones de peces nativos (Banco Mundial, 2011).

#### **2.4 Salmonicultura: una actividad en expansión**

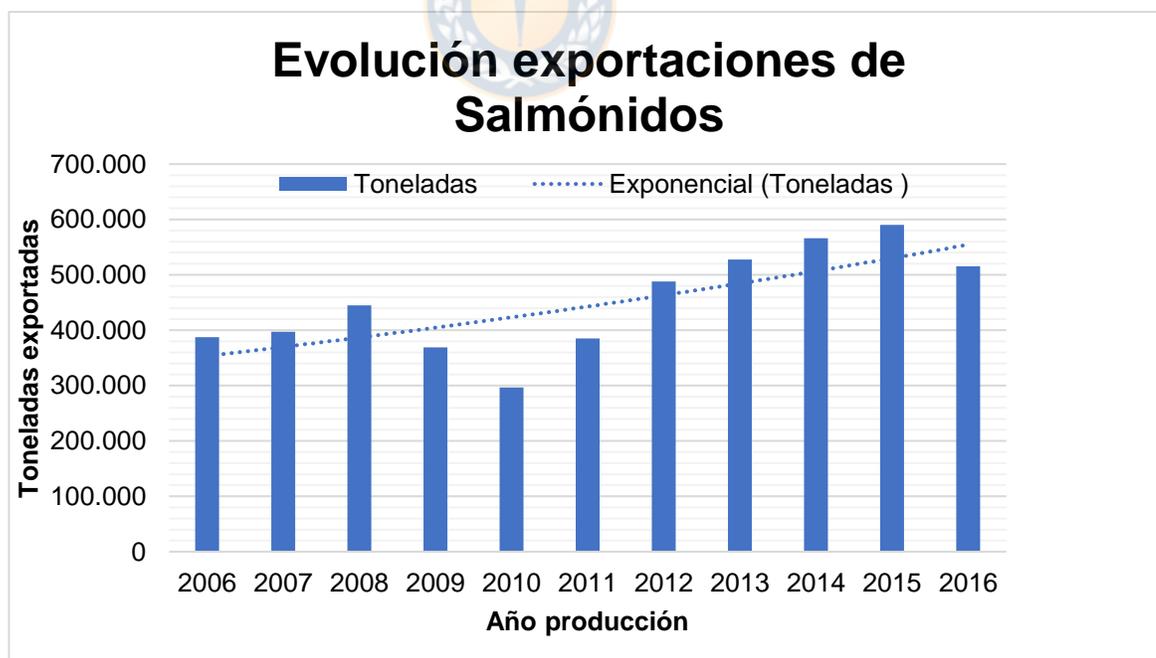
En la década de 1980 comenzó el despegue de la industria salmonera. Sin embargo, el real impulso llegó en la década de 1990 con la generación de las primeras ovas locales de salmónes Coho, hito que es considerado por el sector como el punto de partida de esta industria (Basulto, 2003).

Según el código aduanero, Chile exporta cinco mil categorías de productos, de los cuales mil corresponden a alimentos que son enviados a 182 países. De ese total, el 10% corresponde a la industria de salmónidos, la que durante los últimos 20 años se ha consolidado como un productor de salmón a nivel mundial, al

concentrar un tercio de la producción global, antecedido por Noruega y seguido por Reino Unido y Canadá (SalmónChile, 2016).

En la actualidad la industria salmonera nacional genera ventas por US \$ 4.363 millones, con una producción de 850 mil toneladas, aportando cerca del 3,5 % del PIB (SUBPESCA, 2014).

Las exportaciones de Pescado fresco, refrigerado o congelado, productos clasificados en el grupo código CUCI 034, llegaron a 4.847 millones de dólares el año 2017, lo que fue equivalente al 17% de las exportaciones no mineras del país. Los Salmónidos congelados, rubro código CUCI 034.21, se mantuvieron en el primer lugar de ventas de este sector, exhibiendo una participación del 2%, respecto de las exportaciones totales, y aumentando en un 21% el monto exportado con relación al año 2016, destacando a Japón (42%), Rusia (21%) y China (8%), como sus principales destinos.



**Figura 7.** Evolución de exportaciones de salmónidos en Chile desde el año 2006 hasta el 2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Asociación de la Industria de Salmón de Chile A.G. (Salmón Chile), 2016.

Como se observa en la figura 7, desde el año 2006 las exportaciones de salmón aumentaron hasta 2008 donde tuvieron una caída, posible por la “Crisis del virus ISA” y luego se volvió a recuperar hasta el problema sanitario ambiental en el sur de Chile en 2016, sin embargo, según el banco Nordea en 2016 estima que para 2019 la producción de salmónes volverá al alza, registrando 456.000 toneladas de salmónidos anual (AQUA, 2016).

El mercado de salmón y trucha en Chile sigue evolucionando, comportándose como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** Exportación chilena de salmón y trucha entre 2007 hasta 2016.

Año	2007	2008	2009	2010	2011
Toneladas netas	397.144	445.083	368.992	296.903	385.325
US\$ FOB (en millones)	2242	2393	2100	2060	2926
Año	2012	2013	2014	2015	2016
Toneladas netas	488.124	527.770	566.250	590.101	515.467
US\$ FOB (en millones)	2890	3517	4361	3526	3844

Fuente: Recuperado y adaptado de SalmónChile, 2016.

La producción de salmón y trucha se concentra principalmente en tres especies: Salmón Coho (*Oncorhynchus kisutch*), Salmón Atlántico (*Salmo Salar*) y Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*). La exportación acumulada entre enero y

diciembre de 2016 alcanzó un total de 515.467 toneladas netas, según la Asociación de la Industria de Salmón de Chile A.G. (Salmón Chile).

**Tabla 3.** Exportación por especie en toneladas netas de salmón y trucha.

Especie	Toneladas netas (porcentaje)
Salmón del Atlántico	379.424 (74%)
Salmón Coho	86.980 (17%)
Trucha arcoiris	49.062 (10%)

Fuente: Salmón Chile, 2016

Entre los principales destinos de la producción de salmón y trucha, se encuentran: Estados Unidos, Japón, Brasil, Rusia y la Unión Europea, importando un valor de 3.844 millones de dólares.

**Tabla 4.** Mercado principal de salmón y trucha.

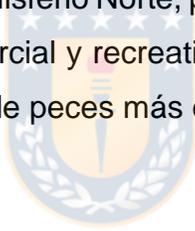
Mercado	Toneladas netas	US\$ FOB (en millones)
EE.UU.	136.359 (26%)	1346 (35%)
Japón	112.697 (22%)	761 (20%)
Brasil	80.991 (16%)	524 (14%)
Otros	73.094 (14%)	449 (12%)
Rusia	52.863 (10%)	332 (9%)
Unión Europea	33.642 (7%)	228 (6%)
América Latina	25.821 (5%)	203 (5%)

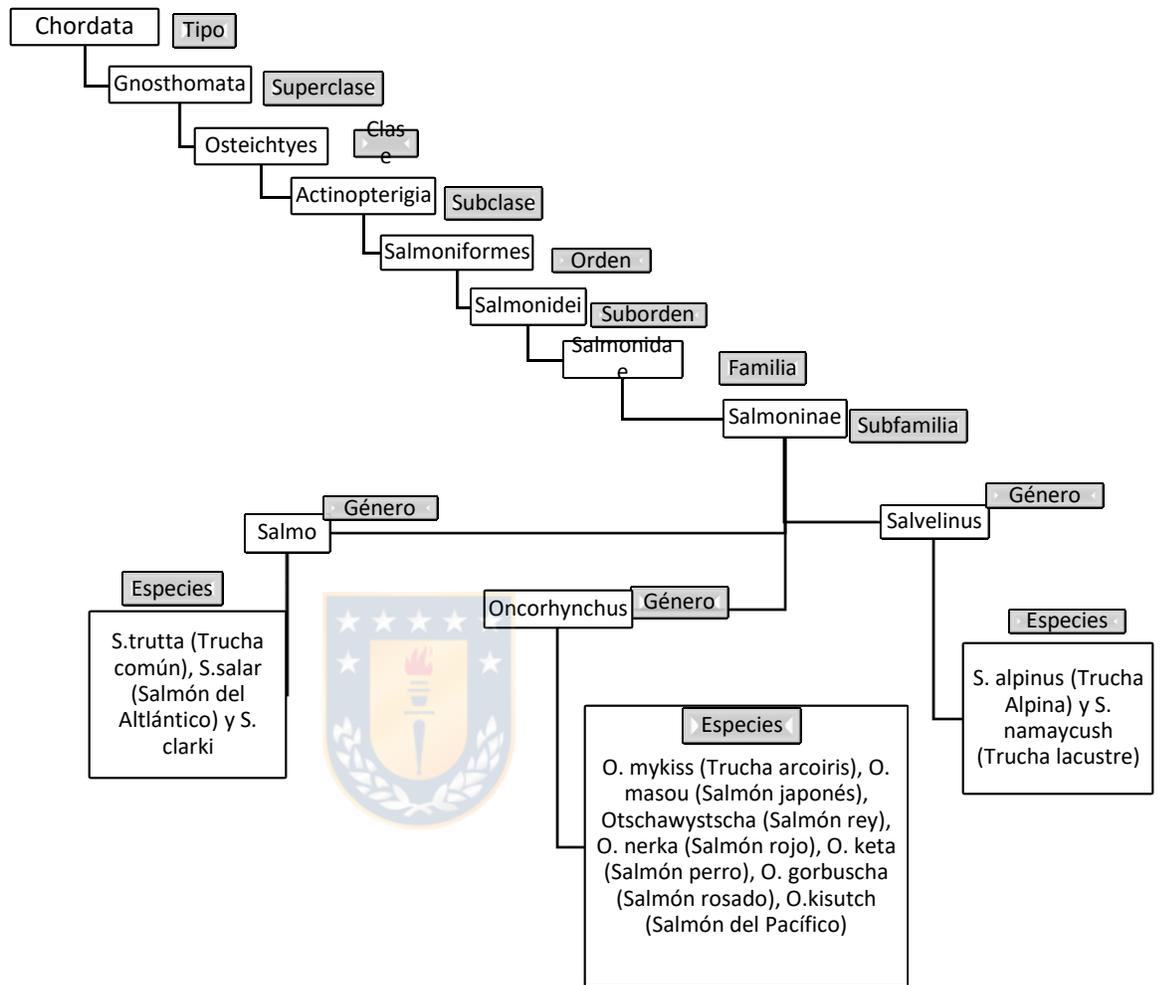
Fuente: Salmón Chile, 2016

Estudios en la región del Biobío aseveran que posee características suficientes para satisfacer el aumento de la producción de salmónidos, como disponibilidad de agua dulce, una línea de costa de casi 600 km de extensión con diversas bahías y golfos, plantas de procesamiento de alto nivel, logística vial y portuaria altamente desarrollada (AQUA, 2015), lo que significa que esta región es un punto estratégico para la salmonicultura.

#### **2.4.1 Descripción de los salmónidos**

Los salmónidos corresponden a una especie hidrobiológica de la familia Salmonidae, estos peces son carnívoros y anádromos, es decir, que viven parte de su vida en el mar y migran hacia aguas dulces con fines reproductivos. Estos peces son originarios del hemisferio Norte, pero actualmente introducidos en todo el mundo, por su valor comercial y recreativo. El salmón y la trucha pertenecen a este grupo y son el grupo de peces más cultivado en Chile.





**Figura 8.** Clasificación taxonómica de Salmónidos.

Fuente: Elaboración propia a partir de clasificación taxonómica de Linnaeus, 1758.

A continuación, se detallan las características principales de las tres especies que se cultivan en la cuenca del Biobío: Salmón del Atlántico, Salmón del Pacífico y Trucha Arcoiris

➤ **Salmón del Atlántico (Salmo Salar)**

Es de un color pardo, verde o azul en el dorso. Los lugares de cultivo se distribuyen desde la VIII a la XII región, y la engorda se da principalmente en la X región. En el agua dulce, se transforman en Smolts, de tamaños entre 12 y 15 cms. y se encuentran listos para migrar al mar en la primavera del primer año después de eclosionar. En el mar algunos permanecen un año retornando con pesos de 1,3 a 1,5 kilos, otros dos años con pesos de 4 a 6 kilos y los menos permanecen por 3 a 4 años con pesos que van desde 8 a 14 kilos; son escasos los que exceden los 4 años en el océano (SERNAPESCA, 2012). Puede alcanzar un tamaño de 70 cm en su etapa adulta y sus principales países de destino son: Estados Unidos, Alemania, Japón, Brasil, Francia, Dinamarca, México



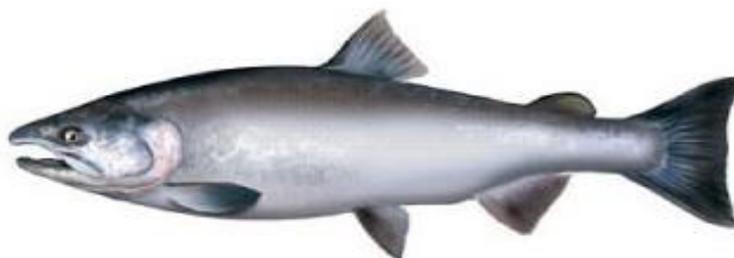
**Figura 9.** Ilustración de Salmón del Atlántico (Salmo Salar) adulto

➤ **Salmón del Pacífico o Coho (Oncorhynchus kisutch)**

Los machos se caracterizan por presentar manchas negras en el dorso y lóbulo superior de la cola, y una coloración plateada en los costados y región abdominal. Esta especie tiene una talla promedio de 97 cm, logrando alcanzar un peso de hasta 16 kg (SERNAPESCA, 2012). Esta especie se distingue a la del Atlántico en que son semélparos, es decir, que mueren después de reproducirse. Las

principales áreas de cultivo están entre la VIII y la XII región, y la de engorda en la X región.

Con respecto al cultivo de estos, los principales mercados de destinos son: Japón, República Popular de China, Tailandia, Corea del Sur, Canadá, Taiwán, Brasil, Estados Unidos de América.



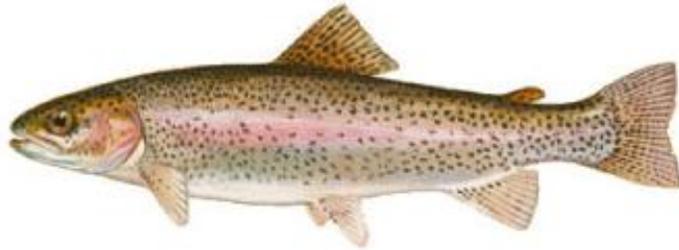
**Figura 10.** Ilustración de Salmón del Pacífico o Coho (*Oncorhynchus kisutch*) adulto



➤ **Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*)**

Pez carnívoro de agua fría, no nativo, donde existen variedades acondicionadas a vivir sólo en agua dulce y otras pueden desarrollar su vida tanto en agua dulce como salada. El cultivo se realiza en la zona sur del país, entre las regiones VIII y XII. En tierra para su etapa de agua dulce y en ambientes marinos costeros para su fase de engorda.

Principales mercados de destino: Japón, Tailandia, Estados Unidos de América, Federación Rusa, República Popular de China, Canadá, Australia, Alemania, Corea del Sur, Francia, Vietnam, Brasil, Singapur.



**Figura 11.** Ilustración de Trucha Arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) adulta

La demanda del recurso hídrico es imprescindible para el desarrollo de la salmonicultura. El agua no sólo se requiere como soporte para el cultivo de las especies acuáticas sino provee además de oxígeno y otros nutrientes, dependiendo del tipo de organismos en cultivo (autótrofos o heterótrofos) y es el reservorio para los elementos de desechos los cuales pueden tener diversos efectos sobre el medio ambiente (Buschmann, 2003)

#### **2.4.2 Proceso productivo de la salmonicultura**

En Chile, la producción de salmón industrial se basa exclusivamente en el sistema de cultivo intensivo, a diferencia de otros países en que también se usa el sistema de cultivo abierto. Sin embargo, se espera que en los próximos años la producción en cautiverio sea la que domine, ya que el cultivo abierto se hace cada vez menos rentable y con un producto de menor calidad, ya que no se pueden controlar todos los factores ambientales (por ejemplo, temperatura y calidad del agua) necesarios para el desarrollo de un pez con características óptimas para su comercialización. Las especies de peces de mayor cultivo en Chile son: Salmón del Atlántico, Salmón Coho o del Pacífico y Trucha Arcoiris.

El desarrollo de la acuicultura de salmónidos requiere de agua dulce para comenzar el cultivo, y luego continuar la engorda del pez en el mar, como se describe a continuación:

- Fase de agua dulce: se realiza desde la obtención de las ovas hasta que los individuos alcanzan el tamaño “Smolt”, con el cual están listos para la siguiente fase. Esta fase se denomina piscicultura
- Fase marina o de engorda: comprende desde finalizada la smoltificación hasta el tamaño adulto. Una vez alcanzada la talla comercial (el tamaño adecuado de un salmónido para ser comercializado) se realiza la cosecha. La talla comercial aproximada de la Trucha arcoíris y del salmón del Pacífico es de 50 cm y del salmón del Atlántico 70 cm.

Luego de ser cosechado el cultivo se transporta a la faena para su posterior comercialización. Debido a que este estudio se contempla en la fase de agua dulce (piscicultura) se describe detalladamente sólo el ciclo en esta etapa:

- a) Captación de agua: para comenzar el proceso se necesita una entrada de agua desde una bocatoma asociada a un curso de agua, la que luego llega a la unidad de cultivo.
- b) Unidad de cultivo: el agua captada se deriva a la unidad de incubación, alevinaje y smoltificación compuesta de bateas y estanques para albergar a los individuos salmonídeos. A continuación, se describe el ciclo de los salmónidos que se produce en esta unidad:

- Fertilización: en otoño se produce el desove de los reproductores, donde se obtienen las ovas de las hembras y el semen de los machos, mezclándolos en bandejas para que resulten las ovas fertilizadas. Esta etapa se realiza a 8°C aproximadamente.



**Figura 12.** Desove de reproductores.

Fuente: SalmonChile

- Incubación: las ovas fertilizadas se incuban en agua dulce a temperatura máxima de 12°C, en aguas claras, bien oxigenadas y bajo techo. La mortalidad en esta etapa es alta, por lo tanto, se debe limitar la manipulación de las ovas, reduciéndose a solo la extracción de ovas muertas, las que se distinguen por su color blanco opaco. Luego de 15 a 30 días ya son embriones con ojos, estando listos para su transporte.



**Figura 13.** Ovas fertilizadas.

Fuente: SalmónChile

- **Eclosión:** Aún en la incubadora, los pequeños alevines empiezan a romper su huevo y deben nadar junto a su saco vitelino hasta que éste se absorbe por completo.



**Figura 14.** Primeros alevines.

Fuente: SalmonFacts

- **Alevinaje:** el alevín comienza su alimentación y nada libremente, ya sea en la incubadora, en bateas o mallas de primera alimentación, hasta convertirse en alevín parr o salmón juvenil. Empiezan a requerir más alimento pues comienza su crecimiento acelerado. Uno de los principales insumos es el alimento para los peces, este se presenta comúnmente en forma de pellet. La harina de pescado constituye uno de los componentes mayoritarios de la dieta de los salmones. Como referencia de la composición química del alimento se consideran los datos de la siguiente tabla:

**Tabla 5.** Composición química del alimento para los salmónidos.

Parámetro	Valor
Proteínas	50%
Lípidos	20%
Humedad	10,7%
Nitrógeno	8%
Fósforo	1,3%
Ceniza	10%

Fuente: Declaración de impacto ambiental (DIA) de piscicultura

- **Smoltificación:** en esta etapa el pez ya posee un tamaño entre 18 a 25 cm con piel plateada y comienza el cambio interno para adaptarse a la vida en agua salada. Dentro de los principales componentes del músculo del salmón se encuentra el agua, seguido de proteínas y lípidos y en menor cantidad minerales y carbohidratos. La trucha arcoíris posee 75% de humedad (Dinleski et al. 1994) y el Salmón del Atlántico posee 69,5 g de agua por 100 g de salmón (Moreiras et al., 2013), lo que equivale a un 69,5 % de agua en un salmón. El suministro del alimento depende de cada centro de cultivo y del funcionamiento de este. Por lo general, se estima la dieta diaria, se raciona en mañana y tarde (70% y 30% respectivamente), o en otros casos, sólo en la mañana el 100%.

En forma general, la alimentación de los peces se puede dar:

- Manual: es el más simple, el más usado en Chile y presenta la ventaja de estar en permanente contacto con los peces lo que permite reconocer y resolver cualquier problema.
- Automática: por medio de dispositivos automáticos fijos programados para arrojar el alimento en un momento determinado, requieren de energía para su funcionamiento.

- Alimentación por demanda: permite que el pez se alimente por sí mismo como consecuencia de un reflejo condicionado que lo induce a golpear una varilla, cayendo una cierta cantidad de alimento.

Por lo general, el ciclo productivo hasta la etapa Smolt posee una duración de aproximadamente 10 meses (Salmón Chile, 2016) y es lo que se produce en una piscicultura. En la siguiente tabla se muestra la duración estimada del ciclo productivo en el cultivo de salmónidos.

**Tabla 6.** Tiempo aproximado del ciclo productivo de salmónido en etapa de agua dulce.

Etapa	Tiempo (meses)
Incubación	1,5
Alevín	1,5
Parr	5-6
Smolt	1

Fuente: Salmón Chile, 2016

c) Sistema de tratamiento de agua residual: es un proceso que consiste en la limpieza por medio físico, químico y/o biológico de los contaminantes en el agua adquiridos luego de atravesar todo el proceso productivo para luego ser descargada en un cuerpo de agua receptor.

Existen varios métodos para tratar el agua residual de la piscicultura, entre ellos encontramos:

- Piscina de decantación: donde se acumula el agua residual y al tiempo decantan los sólidos y se separan en gran cantidad de la columna de

agua, alcanzando al menos, decantar el 85% de los sólidos suspendidos en el efluente antes de su vertido final.

- Filtros rotatorios: son separadores de sólidos gruesos del agua, se usan en tratamientos primarios.
- Luz UV: un método físico de desinfección por medio de una longitud de onda invisible al ojo humano. Es exitoso frente a bacterias y algunos virus.

Cabe destacar que los residuos generados por la industria salmonera corresponden a un importante volumen de lodo que se acumula en los fondos de las jaulas, los que pueden contener antibióticos y/o pesticidas, una alta concentración de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, los que son retirados para mitigar los procesos de eutrofización en agua dulce (Buschmann et al., 2003).

## **2.5 Huella hídrica**

Debido a todas las problemáticas que existen en torno al recurso hídrico mencionadas anteriormente, el agua es un recurso estratégico y arriesgado que necesita una mejor gestión en todos los niveles posibles: internacional, nacional y de cuencas.

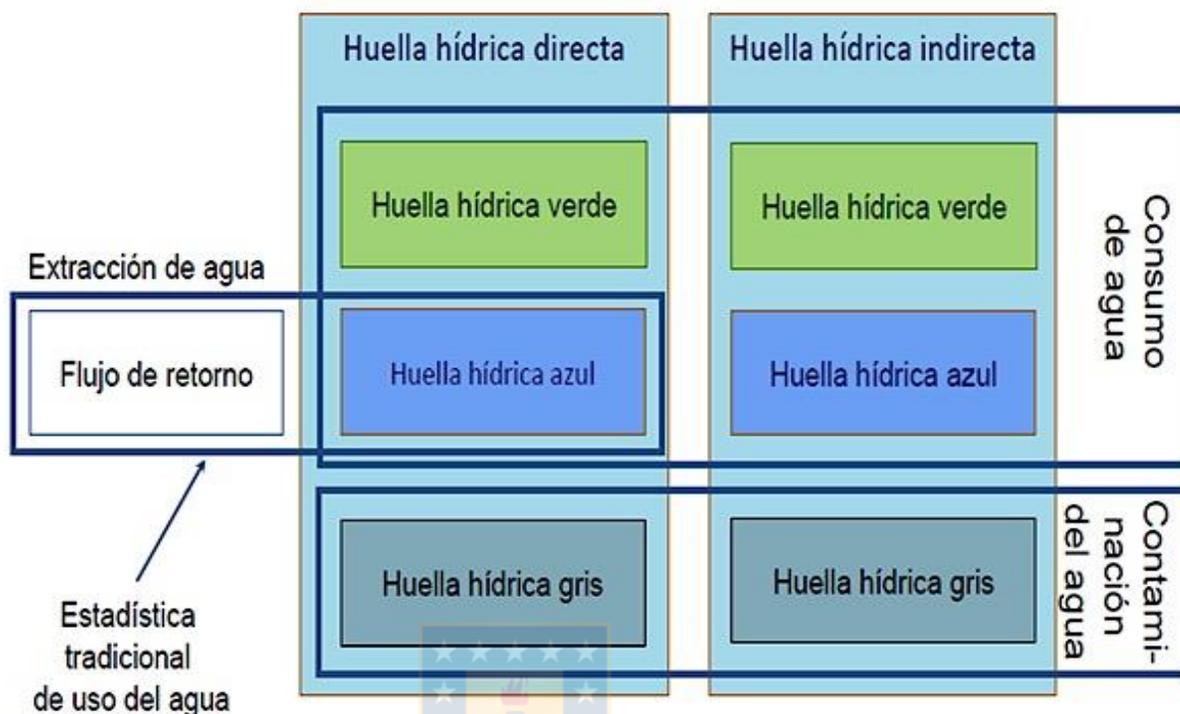
Bajo este contexto, surge el concepto de huella hídrica, el cual fue introducido en el año 2002 por el Dr. Arjen Hoekstra y posteriormente difundido por la organización Water Footprint Network (WFN). La huella hídrica se define como un indicador de consumo y contaminación del agua dulce, que contempla dimensiones directas e indirectas. Este tipo de metodología apunta a un cambio de paradigma en la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y en las políticas hídricas, agropecuarias y comerciales a nivel mundial. (Vazqu ez del Mercado et al., 2012).

La huella de agua se introdujo como una analogía a la huella de carbono y la huella ecológica (Hoekstra, 2007 citado por Hastings & Pegram, 2012). El uso de agua en un lugar abundante agua es muy diferente que el uso de agua

en un lugar con poca agua. (Hastings & Pegram, 2012). La metodología de The Water Footprint Network fue la primera sobre huella hídrica y se lanzó en el año 2009 por Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen.

Esta metodología puede ser calculada para un proceso, producto, consumidor o grupo de consumidores. Contempla 3 aspectos importantes a la hora de su evaluación:

- a. Huella Hídrica Azul: Representa los consumos de agua dulce (provenientes de fuentes superficiales y subterráneas) para toda la cadena de producción de un producto.
- b. Huella Hídrica Gris: Se refiere al agua contaminada. Está definida por el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar una carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales y estándares ambientales de calidad de agua.
- c. Huella Hídrica Verde: Hace relación al consumo de aguas provenientes desde la lluvia que no se convierte en escorrentía, sino que se incorpora en productos agrícolas (Hoekstra et al., 2011).



**Figura 15.** Representación esquemática de los componentes de la huella hídrica.

Fuente: Hoekstra et al., 2011.

### 2.5.1 Enfoque del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la Huella Hídrica.

El concepto de ACV se originó en la década de 1960 ante la creciente preocupación por las limitaciones de las materias primas y recursos energéticos. Esta primera versión fue sujeta a muchos cambios en donde luego en el año 2006 la ISO (International Organization for Standardization), lanzó dos normas ISO con el fin de estandarizar el método (ISO 14040 y 14044: 2006).

Un enfoque alternativo se fue desarrollando para la inclusión de la huella hídrica en el contexto del análisis de ciclo de vida. Esta nueva perspectiva para la huella hídrica se desarrolla con la idea de poder considerar los impactos ambientales de una forma más estandarizada a nivel internacional, ya que la metodología del ACV está totalmente normalizada a través de la creación de la ISO 14044:2006.

Por todo esto, la Organización Internacional de Normalización (ISO) comenzó en el 2014 un estándar para la evaluación de la huella de agua que utiliza el método del análisis del ciclo de vida (Berger & Finkbeiner; Hastings & Pegrarn, 2012).

La norma internacional ISO 14046: "Gestión Ambiental- Huella de agua- Principios, requisitos y directrices", publicada en 2014, resalta como una opción metodológica para evaluar el impacto potencial de productos, servicios u organizaciones al agua de manera integral, ya que toma en cuenta tanto la cantidad como la calidad del agua y un enfoque de ciclo de vida.

La cuantificación de la huella de agua, de acuerdo con la norma internacional ISO 14046:2014, se basa en las normas internacionales ISO 14040 (ISO 14040, 2006) e ISO 14044 (ISO 14044, 2006) sobre Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Algunos conceptos y metodologías previamente desarrollados para evaluar la demanda de recursos y la presión sobre el ambiente que generan las actividades humanas incluyen la "huella ecológica" (Rees, 1992), el "agua virtual" (Allan, 1998) y la "huella hídrica" (Hoekstra, 2003).

La ISO 14046 tiene un carácter modular, identifica el o los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua e incluye dimensiones geográficas y temporales pertinentes del estudio, además no solo identifica la cantidad de consumo de agua sino también los cambios en la calidad del agua.

Las etapas de esta nueva metodología claramente difieren de las fases de la metodología previa sacando algunos conceptos anteriores tales como la huella hídrica verde, azul o gris, ya que la huella hídrica que propone la ISO 14046 sigue los lineamientos del análisis de ciclo de vida y por ende todas sus bases.

### **2.5.2 Caso de estudio de huella hídrica en la piscicultura**

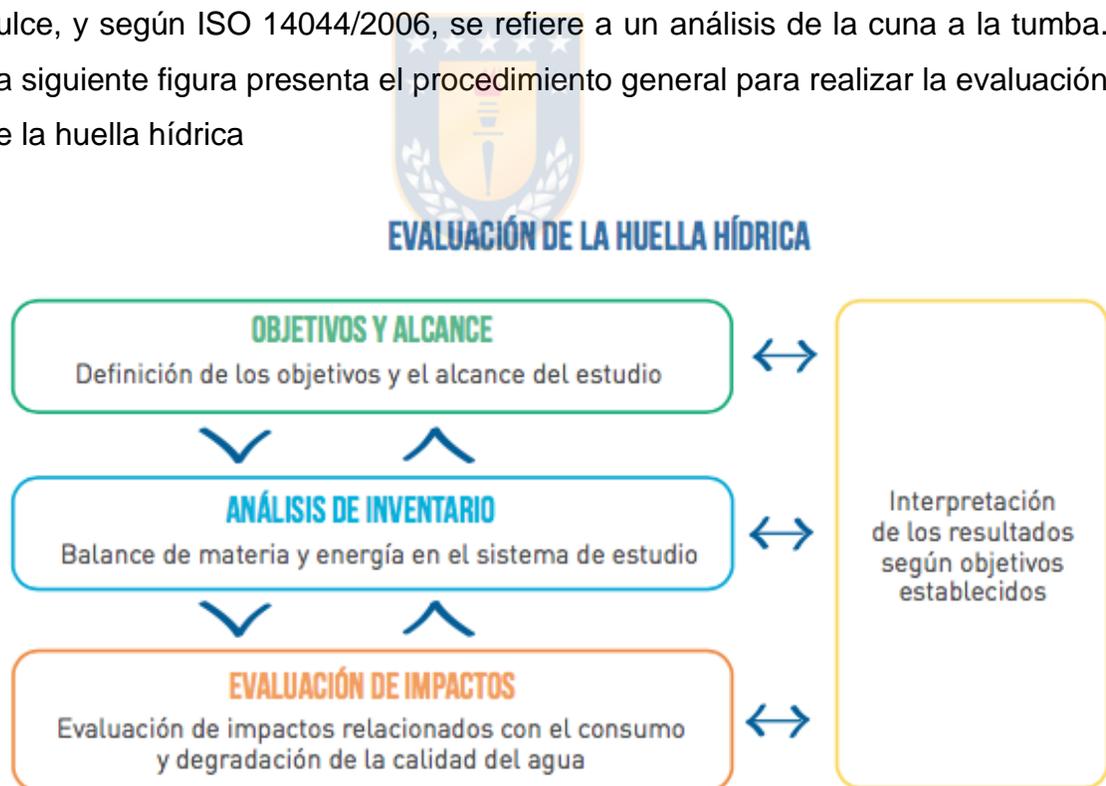
En 2016 se desarrolló una metodología para calcular la huella que genera la piscicultura en los recursos hídricos del Valle del Cauca en Colombia titulada "Metodología para la medición de la huella hídrica en la producción de tilapia, cachama y trucha: estudios de caso para el Valle del Cauca (Colombia)",

realizada por el Instituto CINARA de la Universidad del Valle y la Federación Colombiana de Acuicultores (FEDEACUA).

Esta metodología se basó en la medición de huella hídrica propuesta por Hoekstra y la Water Footprint Network, es decir, considera la huella azul, verde y gris.

### 3 METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para la evaluación de la huella hídrica de la piscicultura en la cuenca del río Biobío es la descrita en la ISO 14046/2014. Se analizó el ciclo del agua en el proceso productivo de peces en su fase de agua dulce, y según ISO 14044/2006, se refiere a un análisis de la cuna a la tumba. La siguiente figura presenta el procedimiento general para realizar la evaluación de la huella hídrica



**Figura 16.** Esquema de las etapas para el cálculo de huella hídrica.

Fuente: Adaptado de ISO 14046, 2014

### 3.1 Objetivos y alcance

#### Objetivos del estudio

Es importante realizar estudios sobre los impactos potenciales de las distintas actividades que utilizan el agua para así gestionar el recurso hídrico, y en este caso existe una actividad que no ha sido evaluada en su potencial impacto sobre la calidad y cantidad de las aguas de la cuenca del río Biobío, que posee grandes fortalezas en la región para desarrollarse, la piscicultura.

Con los resultados se podrá identificar que parte del proceso de producción consume o degrada más, como afecta cada centro de cultivo a las aguas de la cuenca y de qué forma mitigar estos impactos, sí corresponde.

Los resultados servirán como base para próximas tomas de decisión sobre la gestión de RR.HH., para las propias empresas piscicultoras de la cuenca del río Biobío, como indicador de impacto ambiental para próximas evaluaciones de impacto ambiental o para futuras investigaciones.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la huella hídrica de la piscicultura operando en la cuenca del río Biobío, para contribuir en una posible mejora o mantención de las condiciones de las aguas superficiales de la cuenca. A continuación, se describen los pasos para la realización del estudio:

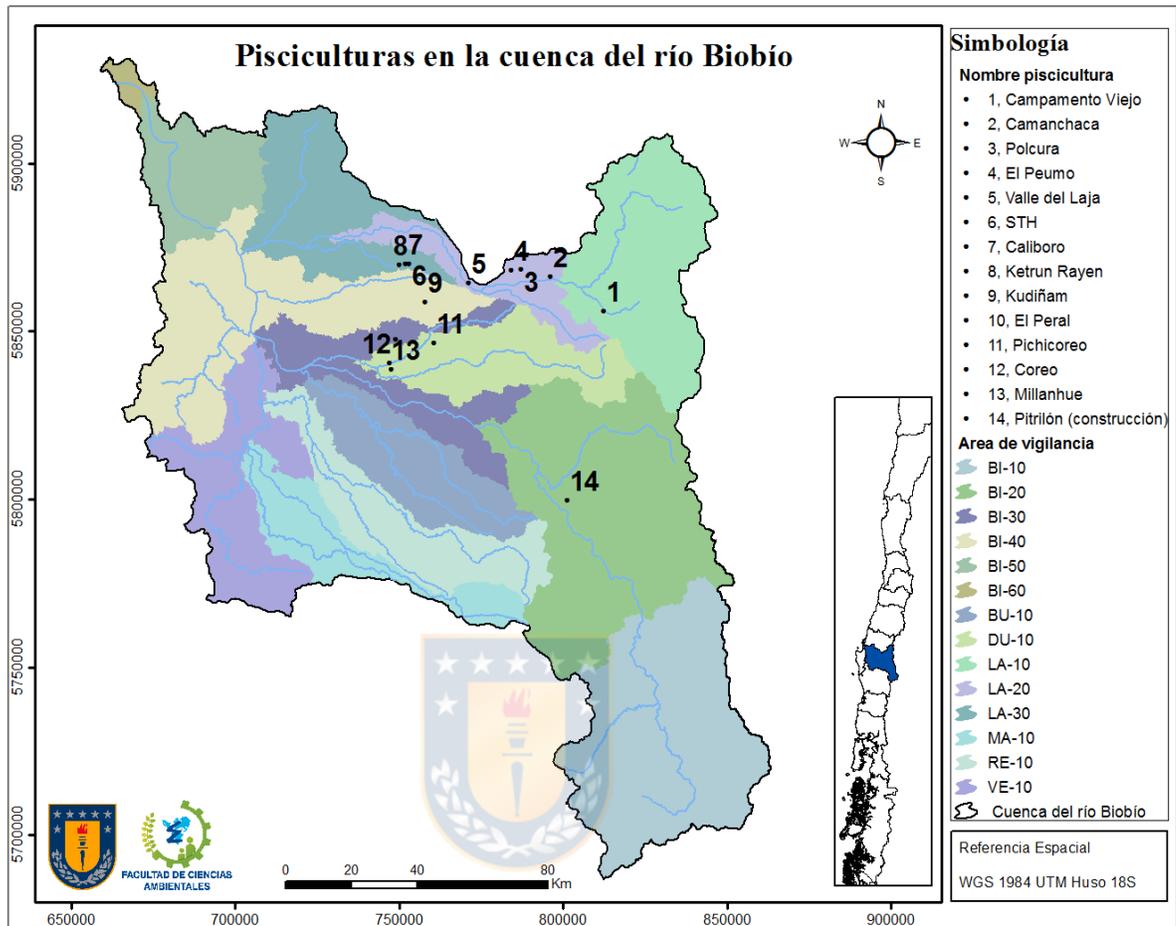
En primer lugar, se actualizó y recopiló la información sobre los centros de cultivos existentes y en operación en las regiones del Biobío y Araucanía, solicitando información a través de la Ley de transparencia al SERNAPESCA, SMA, DGA y SISS, tal como nombre del centro, coordenadas en UTM, producción total, entre otros datos, los que fueron organizados en Excel. Para determinar qué centros piscícolas se encontraban dentro del área de la cuenca del río Biobío, se creó una entidad a partir de la tabla que se hizo en Excel con los nombres de cada centro y su ubicación respectiva en UTM en ArcGis v10.1, y se comparó con la superficie geolocalizada de la cuenca del río Biobío.

El proceso productivo de peces en la cuenca del río Biobío corresponde a especies salmonídeas como Salmón del atlántico, Salmón del Pacífico y Trucha Arcoíris en su fase de agua dulce, y cultivadas en estanques. Se observa que la piscicultura en la cuenca del río Biobío se concentra en la parte alta y media de la cuenca, en las áreas de vigilancia LA-20, LA-30 y DU-10 principalmente. Lo anterior, ya que la concentración de oxígeno disuelto disponible para los peces en la zona de rítrón es mayor que en la zona baja del río, debido a las pendientes existentes y el régimen turbulento y de transición del curso de agua.

Los cultivos existentes en la cuenca poseen una producción máxima anual de 6125 ton/año de las tres especies producidas: Salmón del Atlántico, Salmón del pacífico (Coho) y Trucha arcoíris.

En la cuenca del río Biobío se hallaron trece centros de cultivo de especies salmonídeas, los que se presentan a continuación.





**Figura 17.** Mapa de los centros de cultivo de salmónidos encontrados en la cuenca del río Biobío al año 2016, y las catorce áreas de vigilancia asociadas establecidas por D.S. N°9/MMA.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos entregados por SERNAPESCA y SMA.

**Tabla 7.** Características principales de las pisciculturas encontradas en la cuenca del río Biobío.

Nombre centro cultivo	Comuna	AV asociado	Curso de agua asociado	Producción máx total (ton/año)
CAMPAMENTO VIEJO	Antuco	LA-10	Estero S/N (Río Laja)	99
KUDIÑAM	Los Angeles	BI-30	Río Rarínco	960
EL PERAL	Los Angeles	BI-40	Estero Cholguague	395
CAMANCHACA	Los Angeles	LA-20	Canal Zañartu	50
STH	Los Angeles	LA-30	Río Caliboro	1002
KETRUN RAYEN	Los Angeles	LA-30	Río Caliboro	506
CALIBORO	Los Angeles	LA-30	Río Caliboro	40
PICHICOREO	Quilleco	DU-10	Estero Pichicoreo	72
COREO	Quilleco	DU-10	Río Coreo	683
POLCURA	Tucapel	LA-20	Río Manco (canal zañartu)	1020
VALLE DEL LAJA	Tucapel	LA-20	Estero el Litre (Río Laja)	800
EL PEUMO	Tucapel	LA-20	Canal Zañartu	176

Fuente: elaboración propia a partir de datos en DIAs de las pisciculturas en estudio, D.S. N°9/2015 y SMA.

### 3.2 Unidad funcional

Una Unidad Funcional (UF) es la base de cálculo respecto de la cual se normalizan las entradas y salidas del sistema analizado (Fundación Chile, 2016), y así se pueda concluir de forma estandarizada lo que se quiera estudiar.

La unidad funcional será de 100 toneladas de salmónidos producidos por centro de cultivo en un año de operación, debido a que la producción de cada centro es distinta, pero no menor a ese valor.

### 3.3 Dimensión temporal y geográfica

El período de estudio contempla 1 año y comprende de enero a diciembre del año 2016, debido a la disponibilidad de datos. Además, el estudio se realiza para todos los centros de cultivo en operación emplazados en la cuenca del río Biobío hasta el mismo año con disponibilidad de datos. Los centros en estudio son: El Peumo, STH, Kudiñam, Ketrún Rayén, Coreo y El Peral. Esta muestra representa el 46% del total de pisciculturas operando en la cuenca del río Biobío. En anexos se encuentran las imágenes satelitales de cada piscicultura en estudio

**Tabla 8.** Características principales de los centros piscícolas en estudio.

Piscicultura	A.V.	Producción máxima anual (ton)
STH	LA-30	1002
COREO	DU-10	683
EL PERAL	BI-30	149
KETRÚN RAYÉN	LA-30	506
EL PEUMO	LA-20	176
KUDIÑAM	BI-40	960

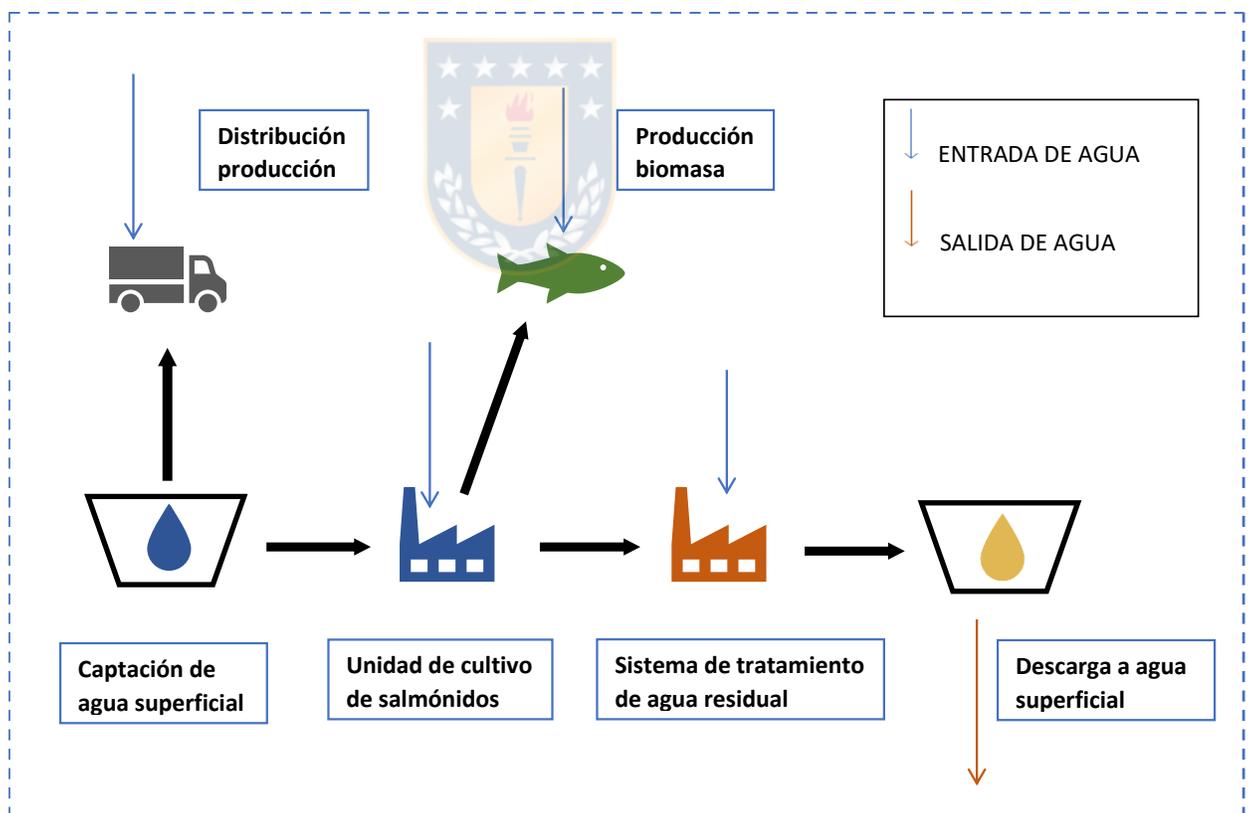
Fuente: DIAs de cada piscicultura encontradas en la plataforma virtual del SEIA.

### 3.4 Límites del sistema

El estudio se basa en el proceso productivo de salmónidos en su fase de agua dulce en la cuenca del río Biobío. Se incluyen todas las operaciones asociadas al proceso en la cuenca, es decir, desde la captación de agua para unidades de

cultivo hasta la posterior descarga de efluentes en los distintos cuerpos de agua receptores, considerando además el agua en que se transporta a los peces a la fase de engorda en el sur de Chile. Todos los centros de cultivo estudiados poseen las mismas operaciones y procesos.

El enfoque de ACV utilizado fue de la cuna a la tumba en la piscicultura, pero el estudio excluye la fabricación de materias primas, insumos y energías, ya que estos aspectos se importan a la cuenca y en este caso el objetivo del estudio es conocer el impacto potencial del proceso piscícola en la cuenca del río Biobío, es decir, como afecta en cantidad y calidad a las aguas superficiales de la cuenca.



**Figura 18.** Límites del sistema productivo de salmónidos en la fase de agua dulce.

Fuente: Elaboración propia

Se conoce que el proceso productivo de cada centro de cultivo perteneciente a la cuenca del Biobío está representado en la figura anterior.

Para mayor entendimiento, se describe cada componente del alcance del sistema a continuación:

Símbolo	Significado
	Captación de agua: caudal de agua captada desde un río o estero colindante a la construcción, a través de una bocatoma seguido de un canal artificial para su llegada a la unidad de cultivo. Datos recopilados desde autocontroles de cada centro estudiado.
	Unidad de cultivo: se refiere a las estructuras destinadas a almacenar agua y mantener en su interior a los salmónidos durante las distintas etapas de su desarrollo. Se contempla en esta unidad a las incubadoras, estanques, piscinas y/o lagunas artificiales. Se calculó en base a la capacidad de almacenamiento de cada unidad de cultivo informado en las DIAs.
	Volumen de agua contenida en un salmón. Se calculó a partir de producción anual y el contenido de agua en músculo de salmón.
	Distribución: volumen de agua necesaria para transportar la producción de salmónidos por centro a su destino final en los cultivos en agua de mar en el sur de Chile para completar la última etapa de los salmónidos antes de ser comercializados.
	Sistema de tratamiento de agua residual: En esta unidad se mejora la calidad del agua para su devolución al cuerpo de agua del que se captó.
	Caudal de agua descargada al río o estero respectivo. Datos recopilados desde autocontroles

### 3.5 Datos de inventario

A continuación, se presentan las fuentes de información utilizadas en el estudio, estas se clasifican en datos primario (fuente directa) y datos secundarios (fuente bibliográfica).

- Datos primarios: los datos de calidad y caudal de agua de salida de las pisciculturas se obtuvieron de los autocontroles de cada empresa informados por ley a la Superintendencia de Medio Ambiente. Otros datos como producción total anual, características de infraestructura, se recopilaron desde las declaraciones de impacto ambiental (DIA) de cada piscicultura. Los datos de calidad en la entrada de las pisciculturas se obtuvieron de análisis de laboratorios solicitados por cada centro de cultivo para estudios de cada empresa.
- Datos secundarios: los valores de agua en transporte para cada centro se obtuvieron de información encontrada en la DIA de la piscicultura STH, la cual contempla que para transportar su producción total de salmónidos en un año se utilizarán 480 camiones, y cada uno transportará 8 estanques con capacidad de 3 m<sup>3</sup> y la densidad de carga de cada estanque será de 75 kg/m<sup>3</sup>. A modo de ejemplo, la piscicultura STH necesitará 11.520 m<sup>3</sup> aproximadamente para trasladar de la cuenca su producción máxima total en un año.

**Tabla 9.** Clasificación de datos de inventario y su fuente.

Variable	Fuente	Tipo dato inventario
Volumen agua captada	Autocontroles 2016	Primario
Volumen agua descargada	Autocontroles 2016	Primario

Producción de salmón	DIAs	Primario
Calidad agua descargada	Autocontroles	Primario
Calidad agua captada	Análisis laboratorio -Hidrolab (2015) para El Peral - Aqualaq - DSS (2018) - Estación monitoreo calidad aguas DGA (2016)	Primario
Concentración de referencia	DS N°9/2015	Primario
Capacidad unidades de cultivo	DIAs	Primario
Agua en transporte	DIA piscicultura STH	Secundario

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Consideraciones realizadas en el estudio

Los centros de cultivo en estudio fueron escogidos por la disponibilidad de datos de autocontroles e información necesaria para realizar la evaluación de la huella hídrica.

Se utilizaron datos lo más representativos posibles y disponibles, como producción total anual indicada en las DIAs y volumen de agua en unidades de cultivo según características informadas.

Luego, se realizó un balance hídrico con los datos recopilados, como volúmenes de entrada y salida del proceso. El paso más importante para el cálculo de la HH es la determinación del balance hídrico por unidad, para posteriormente obtener el balance hídrico total de todo el sistema analizado, en este caso, la piscicultura.

### 3.7 Cálculo de huella hídrica directa

*HH consumo directo*

$$= \sum \text{Entrada } H_2O \left( \frac{m^3 \text{equiv}}{\text{año}} \right) - \sum \text{Salida } H_2O \left( \frac{m^3 \text{equiv}}{\text{año}} \right)$$

En la entrada de agua se consideró: agua almacenada en estanques, agua en biomasa y transportada en conjunto a los peces cosechados con destino al sur de Chile a los centros de cultivo en el mar. La  $V_{bio}$  es el volumen de agua contenido en la biomasa para salmónidos es en promedio 69,5 % de agua (Moreiras y Col, 2013). La  $V_{bio}$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_{Bio} = (P_{Bio f} - P_{Bio i}) \times \%A$$

Fuente: CINARA, 2016

Donde,

$P_{bio F}$ : es la masa total final de la biomasa producida (ton)

$P_{bio i}$ : es la masa total inicial de la biomasa, para este estudio es 0 debido a que las ovas poseen una masa insignificante comparada con los Smolts (ton).

$\%A$ : se refiere al porcentaje de agua contenida en un salmónido, el que alcanza un valor de 69,5%.

El  $V_{Ac}$  se calculó como el volumen de llenado del estanque según su geometría, pues es el medio de vida de los peces y permanece aproximadamente constante durante toda la etapa.

### 3.7.1 Evaluación de la huella hídrica

Una vez que el inventario de evaluación de huella hídrica se encuentra listo, es posible realizar la evaluación de impactos asociados al agua, que se clasifican tanto para usos consuntivos, degradativos y de disponibilidad (escasez hídrica). Para el caso de este estudio, se hará la evaluación de huella hídrica por consumos directos y evaluación de impactos asociados a calidad y escasez a través del Índice de Impacto Hídrico (WIIX).

Uno de los indicadores de disponibilidad de agua es el Índice de Impacto Hídrico (WIIX) que fue desarrollado por Veolia 2011. Este índice evalúa el impacto del uso del agua, agrupando en un solo parámetro tres factores: consumo de agua, calidad del agua (extraída y descargada), y el grado de escasez de agua en la zona donde se realiza el estudio. Cuantifica en un número el consumo y contaminación del proceso. Varía entre el valor positivo de la extracción (se consume toda el agua que se extrae o se devuelve en malas condiciones) y el valor negativo del vertimiento (cuando la calidad del agua de la extracción es mala y se devuelve toda el agua en óptimas condiciones).

Este índice tiene en cuenta, tanto la cantidad como la calidad del agua extraída y descargada al medio ambiente, además de la escasez local de recursos de agua dulce. Para su cálculo se consideran las ecuaciones 3 y 4, según la metodología de la ISO 14.046:

$$WII = \sum_i (W_i \left( \frac{m^3 \text{equiv}}{\text{año}} \right) * Q_i * WSI_i) - \sum_j (W_j \left( \frac{m^3 \text{equiv}}{\text{año}} \right) * Q_j * WSI_j)$$

Fuente: Veolia, 2011

$$Q_{wi} \text{ y } Q_{wj} = \min \left( 1; \frac{C_{ref}}{C_{wi,p}; C_{wj,p}} \right)$$

Fuente: Veolia, 2011

Donde,

$WiyRj$ : Corresponde al agua que ingresa al proceso y al agua descargada a un cuerpo de agua, en unidades de volumen equivalente (normalizados a la unidad funcional) respectivamente.

$QwiyQRj$ : Índices de calidad del agua extraída y descargada, respectivamente. No posee unidad de medida.

$WSIj$  y  $WSIj$ : Índices de escasez hídrica para los cuerpos de agua de extracción y descarga al cuerpo de agua, respectivamente. No posee unidad de medida.

$Crefp$ : Se refiere a la concentración de referencia utilizada para el contaminante “p”. Estos valores serán los límites de concentración estipulados en la NSCA de las aguas del río Biobío según el área de vigilancia asociado a la ubicación geográfica de cada piscicultura.

$CWi,;$   $CRj,p$ : Corresponde a la concentración efectiva del contaminante “p” en el agua de captada o descargada.

La concentración de referencia para cada parámetro considerado se obtuvo de los valores máximos estipulados en la NSCA del río Biobío, se adjuntan los valores en la siguiente tabla:

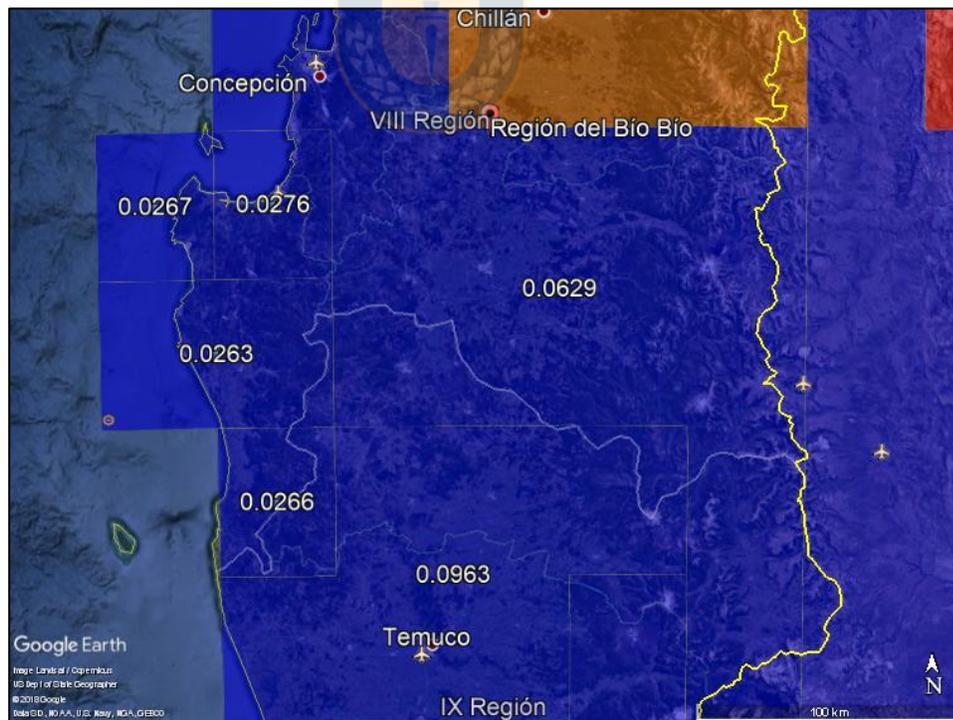
**Tabla 10.** Límites de parámetros utilizados como Concentración de referencia (Cref) en el cálculo de huella hídrica por área de vigilancia.

Area de vigilancia	Límite por parámetro (mg/L)				
	Nitrógeno total	Fósforo total	DBO <sub>5</sub>	Coliformes fecales	Sólidos suspendidos (SS)
BI-30	0,2	0,04	2	500	8

BI-40	0,3	0,02	2	500	8
LA-20	0,1	0,02	2	50	2
LA-30	0,3	0,1	2	500	5
DU-10	0,6	0,05	2	1000	5

Fuente: Norma secundaria de calidad ambiental para las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío (DS N°9, 2015)

El valor de WSle y WSls se obtiene mediante una capa de google Earth disponibles en internet (<http://www.ifu.ethz.ch/ESD/downloads/EI99plus>). Sus valores van desde 0.01 para lugares no estresados y 1 para lugares muy estresados, y es un valor adimensional. En el caso de este estudio el valor tanto del WSle como del WSls para todos los centros de cultivo estudiados es 0,0629.



**Figura 19.** Capa de Google Earth con valores de WSI.

Fuente: Google Earth, 2018 y Pfister et al., 2009

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados del estudio

### 4.1 Balance hídrico de cada centro de cultivo

Para estimar la huella hídrica de la piscicultura en la cuenca del río Biobío, sólo se obtuvieron datos de autocontroles de algunos centros de cultivo, ya que durante el 2016 según expedientes de fiscalización no se efectuaron descargas de efluentes ni captación de agua, por lo tanto, se estimó la huella hídrica de aquellos centros de cultivos que si descargaron y captaron durante ese período.

- Coreo (río Coreo)
- STH (río Caliboro)
- Ketrún Rayén (río Caliboro)
- El Peral (estero Cholguague)
- El Peumo (Canal Zañartu)
- Kudiñam (río Rarínco)



Entre paréntesis (luego de cada nombre del centro), más arriba, se encuentran los cuerpos de agua asociados a cada centro, es decir, desde donde captan agua para realizar su proceso y también descargan el agua residual.

De acuerdo con lo mencionado en la metodología, las entradas de agua de cada centro se dividen en agua en estanque, agua en biomasa y agua transportada; y dentro de las salidas de agua sólo se encontró la descarga de efluente de cada centro de cultivo, y que por falta de datos no se pudo obtener los valores de salida de agua en los lodos que se extraen de la piscina de decantación.

A continuación, se presentan los valores de entrada y salida en el año 2016 en la siguiente tabla:

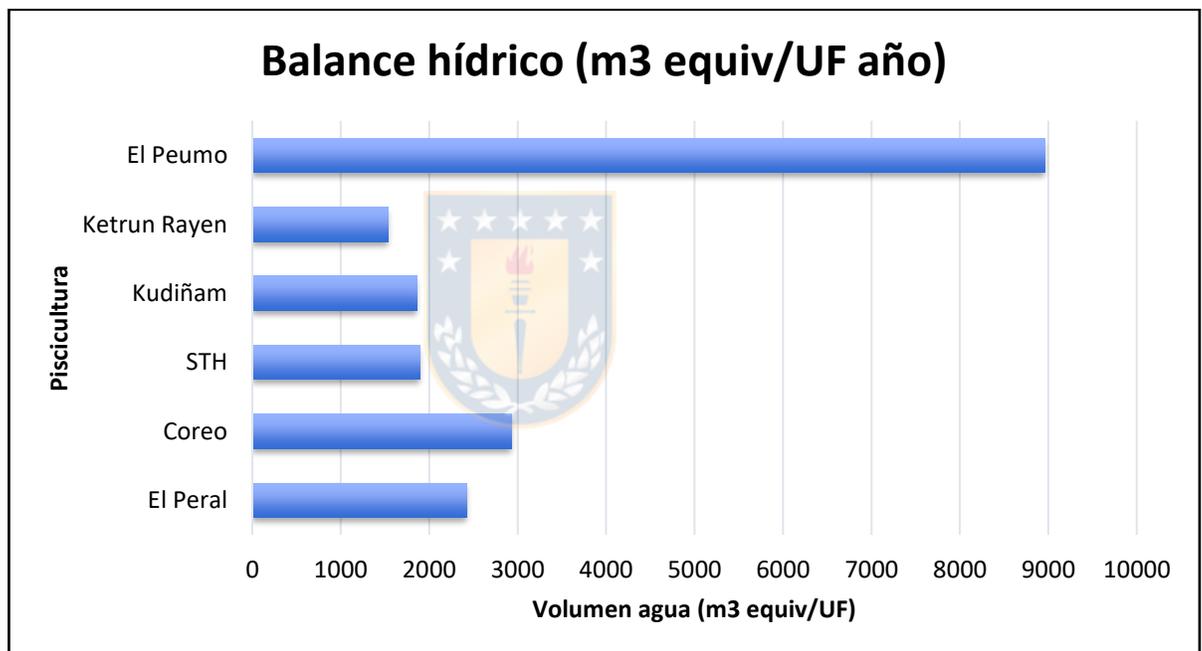
**Tabla 11.** Inventario de usos de agua por centros de cultivos.

Nombre centro de cultivo	Entrada				Salida
	Captación (m <sup>3</sup> )	Almacenamiento (m <sup>3</sup> )	Biomasa (m <sup>3</sup> )	Transporte (m <sup>3</sup> )	Descarga (m <sup>3</sup> )
<b>El Peral</b>	13308265	1518,6	103,7	1992	13308265
<b>Coreo</b>	43204320	5823,7	475,4	5266,7	43204320
<b>STH</b>	37951970	6800	697,4	11520	37951970
<b>Kudiñam</b>	33898046	1248	668,2	4800	33898046
<b>Ketrun Rayen</b>	31711200	690,7	352,2	6744	31711200
<b>El Peumo</b>	31116250	13289	122,5	2352	31116250
		<b>29370</b>	<b>2419,4</b>	<b>32674,7</b>	

Según los datos de cada centro, en materia de consumo de agua por almacenamiento la piscicultura con mayor consumo es El Peumo y la con menor consumo es Ketrun Rayen. No obstante, la piscicultura el Peumo es el segundo centro que menos biomasa de salmónidos produce (176 ton/año), por lo tanto, esto la califica como la menos eficiente de todas las pisciculturas estudiadas de la cuenca del río Biobío, debido posiblemente a que es la única que posee una

laguna artificial como unidad de cultivo y podría generarse una gran pérdida de agua por filtración o por necesidad de recambio de agua mayor al resto de los centros de cultivo estudiados por la necesidad de mayor limpieza por los lodos acumulados en el fondo de la laguna.

El resultado final del balance hídrico (consumo de agua) para cada centro de cultivo de salmónidos se muestra en el gráfico a continuación:



**Figura 20.** Huella hídrica equivalente por piscicultura.

Se observa que el centro de cultivo con mayor consumo de agua por UF, es decir, por 100 toneladas de salmónido producidas es la piscicultura El Peumo ( $8956 \text{ m}^3$  equiv/año), seguida de Coreo ( $2928 \text{ m}^3$  equiv/año), y en tercer lugar la piscicultura El Peral con una huella de  $2425 \text{ m}^3$  equiv/año. La que posee menor consumo de agua es la piscicultura Ketrún Rayén ( $1538 \text{ m}^3$  equiv/año).

El nivel de consumo de agua tiene relación directa con la producción anual de cada centro estudiado, menos en el caso de la piscicultura El Peumo que a pesar

de tener menor producción que la piscicultura Coreo, necesitó más volumen de agua según los resultados, esto debido a que el volumen de la laguna artificial es mayor a las unidades de cultivo utilizadas en los otros centros y por posibles pérdidas por filtración u otras causas.

Luego, para la evaluación de impactos relacionados con el recurso hídrico se utilizó un indicador de punto medio, en este caso el índice de impacto hídrico

## **4.2 Índice de Impacto Hídrico (WIIX)**

### **4.2.1 Factor de calidad (Q)**

El factor de calidad aborda la calidad del agua captada y descargada y una concentración de referencia para cada empresa, en este caso, cada piscicultura.

Para cada centro se determinó el factor de calidad en la entrada y salida de cada centro de cultivo donde se consideraron cinco parámetros relacionados al proceso productivo en estudio: Nitrógeno total, Fósforo total, Sólidos suspendidos (SS), Coliformes fecales y DBO<sub>5</sub>. El criterio de selección de los parámetros fue considerando los parámetros que se regulan en la NSCA del Biobío y que también se muestrearon en las entradas y salidas de cada piscicultura a través de estudios particulares de cada empresa. Entre los parámetros críticos para los seis centros en estudio fueron Nitrógeno total, Fósforo total y DBO<sub>5</sub>. Los valores de cada parámetro se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 12.** Factor de calidad para cada piscicultura.

<b>Piscicultura</b>	<b>Parámetro crítico</b>	<b>Qe</b>	<b>Qs</b>
<b>El Peral (BI-30)</b>	Pt	0,09	0,03
<b>Coreo (DU-10)</b>	Pt	1	0,03
<b>STH (LA-30)</b>	Pt	0,22	0,02
<b>Kudiñam (BI-40)</b>	Nt	0,21	0,38
<b>Ketrun Rayen (LA-30)</b>	Pt	0,02	0,04
<b>El Peumo (LA-20)</b>	Nt	1	0,01

Fuente: D.S. N°9, 2015; Qs= autocontroles de cada centro; Qe= análisis de laboratorio solicitados para estudios de cada piscicultura o datos de calidad de agua de estaciones de la DGA.

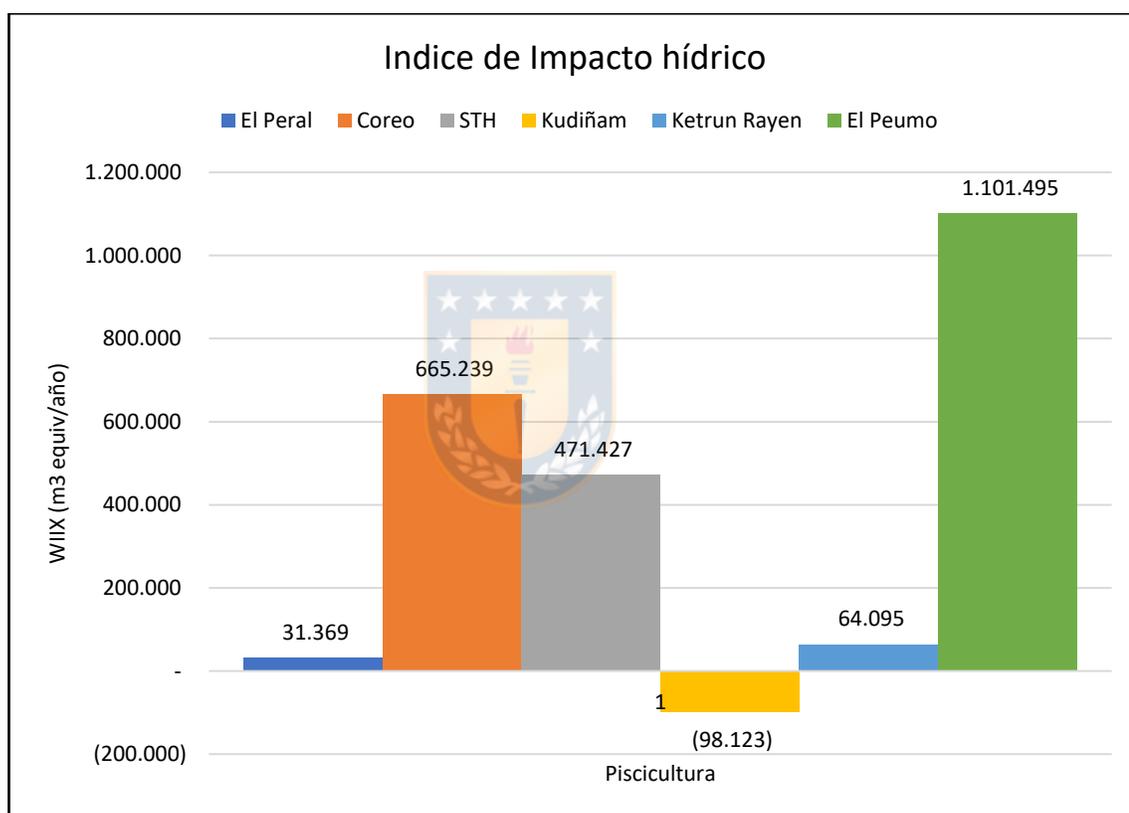
Los parámetros críticos para cada centro de cultivo varían debido a que los valores de  $C_{ref}$  eran distintos para cada uno (dependiendo de área de vigilancia asociada al centro) y los valores de calidad de agua captada y descargada también eran distintos para cada centro, por lo tanto, desde la perspectiva del factor de calidad resultaron distintos parámetros críticos.

#### **4.2.2 Cálculo WIIX**

Como resultado final se encuentra el valor del índice de impacto hídrico de cada piscicultura ubicada en la cuenca del río Biobío como se muestra en la figura 15.

Cuando un índice de impacto hídrico resulta en un valor positivo, quiere decir que el impacto es de tipo negativo, ya que las extracciones o entradas de

agua superan al agua devuelta a un cuerpo de agua, lo que genera disminución en la disponibilidad del recurso hídrico o se devuelve el agua con peor calidad que la extraída. Por otro lado, si el valor del índice de impacto resulta negativo, esto quiere decir que el impacto es de tipo positivo, ya que devuelve el agua con una mejor calidad a la captada antes del proceso.



**Figura 21.** Resultados del impacto hídrico por piscicultura.

El impacto negativo mayor sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico en la cuenca del río Biobío lo posee el centro de cultivo El Peumo, alcanzando 1.101.495 m<sup>3</sup> equiv/UF. Este es uno de los centros más antiguos en la cuenca y el único que opera en una laguna artificial en vez de estanques. En segundo y tercer lugar se encuentra Coreo y STH, respectivamente. No obstante, existen impactos positivos como el caso de la piscicultura Kudiñam, debido a que la

calidad de agua la captada era peor que la descargada, según su parámetro crítico. La causa de este resultado se puede deber a que, al ser pisciculturas más nuevas, poseen mejores tecnologías, es decir, más eficientes devolviendo el agua con mejor calidad. Finalmente, 4 de las pisciculturas estudiadas genera un impacto negativo sobre los recursos hídricos de la cuenca del río Biobío, esto equivale al 67% de la muestra.

Es por lo anterior que se determinaron algunas medidas para el uso eficiente del recurso hídrico en la piscicultura, entre ellas se encuentran:

- Utilizar estanques como unidad de cultivo en alevinaje y smoltificación en vez de laguna artificial, ya que son estructuras sólidas y, por lo tanto, poseen menos probabilidades de filtración y es más fácil mantener el agua limpia.
- Utilizar otros métodos de tratamiento de las aguas residuales además de una piscina de decantación, por ejemplo: luz UV y tratamiento secundario.
- Usar un alimento con mayor asimilación para evitar el exceso de desechos fecales y materia orgánica (lodo).
- Cambiar el tipo de sistema de utilización del agua, de un sistema de flujo abierto a uno de recirculación, ya que los sistemas de recirculación en acuicultura (SRA), se basan en complejos diseños de ingeniería que están pensados para la depuración de las aguas y que son medioambientalmente sostenibles, puesto que utilizan aproximadamente un 90% menos de agua que otros sistemas convencionales; disminuyendo así el consumo de agua y también responsabilizándose de que la calidad del agua sea la adecuada para la vida acuática.



**Figura 22.** Sistema de recirculación de agua en la acuicultura.

Fuente: Genoveva Ingle de la Mora et al., 2003

Además, otra posible medida es aplicar la acuicultura integrada, que proviene de la tecnología AMTI (acuicultura multitrofica integrada) y se define como la práctica en la que los desechos de una especie son reciclados para convertirse en aportes (alimento) para otra (Troel et al., 2005). Esto requiere el cultivo de múltiples organismos de diferentes niveles tróficos al mismo tiempo y producir un balance en el sistema. En general en estos sistemas se combina un primer cultivo de peces o crustáceos con otro de moluscos filtradores al que podría seguir un cultivo de algas. El primer cultivo requiere de alimentación externa, cuyos residuos metabólicos y restos de alimentos son aprovechados por el segundo cultivo. De esta manera, se minimiza la carga orgánica y sustancias nitrogenadas que se vierten a los efluentes y reduce las necesidades de tratamiento del caudal de residuos.

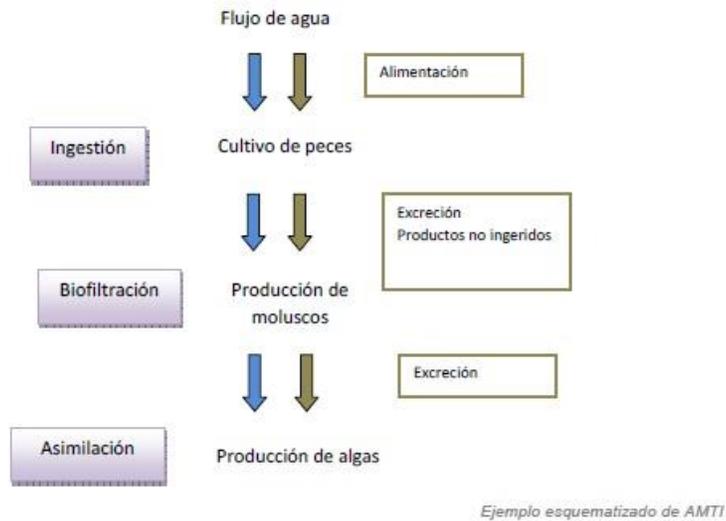


Figura 23. Acuicultura multitrofica integrada.

Fuente: Troel et al., 2005

Los métodos de acuicultura integrada permiten producir biomasa adicional para otros usos sin suponer un gasto añadido (Troel et al., 2005), lo que permitirá aprovechar el residuo generado de las instalaciones de piscifactoría; consiguiendo, por tanto, un mejor aprovechamiento de los recursos acuáticos y mejorar el comportamiento ambiental de los emplazamientos de acuicultura, aumentando su sostenibilidad.

## 5 CONCLUSIONES

La piscicultura se encuentra en la provincia del Biobío y se concentra en la ciudad de los Ángeles y en las áreas de vigilancia LA-20, LA-30 y DU-10.

La piscicultura no debiera considerarse como una actividad con uso de agua no consuntiva, pues como se evidenció, si posee consumos de agua, encontrado en la biomasa y transporte, principalmente.

No obstante, es necesario indicar que la piscicultura no es el único usuario de los cuerpos de agua, actividades urbanas, industriales, agrícolas, forestales y turísticas son usuarias de ellos y todas producen efectos ambientales diferentes en su forma y magnitud. Lo importante es poder cuantificar los efectos que estas producen para poder realizar una gestión integral y sustentable de cualquier recurso natural o actividad.

Una alternativa para medir el efecto sinérgico de las distintas actividades en un lugar como una cuenca o subcuenca es la evaluación de la huella hídrica (ISO 14.046), debido a que considera la cantidad y calidad de entradas y salidas, y, además, cuantifica el impacto de cada actividad.

Si bien la huella de la piscicultura sobre los recursos hídricos no se puede comparar con la huella de la agricultura, es necesario estudiar las distintas actividades antrópicas para aseverar dicha información y asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico para todos sus usuarios y funciones ecosistémicas en la cuenca del río Biobío. Es importante mencionar que una de las principales motivaciones para realizar estudios de huella de agua es reducir los impactos en el medio.

Considerando el impacto negativo que generan sólo 6 de las 13 pisciculturas operando en la cuenca del río Biobío, y la superación de los límites de concentración regulados por el D.S. N°9/2015 (NSCA cuenca río Biobío), se debería prohibir el emplazamiento y operación de nuevos proyectos industriales que puedan aumentar el deterioro de la calidad que poseen actualmente las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío.

## 6 GLOSARIO

Aguas continentales superficiales: son las aguas terrestres que se encuentran naturalmente a la vista del hombre y que escurren por cauces naturales. (DSn°9/MMA)

Área de vigilancia: Es el curso de agua continental superficial o una parte de él, que se establece para efectos de asignar y controlar su calidad ambiental. (DS n°9, 2015)

Caudal: volumen de agua (en este caso) que fluye a través de un cauce por unidad de tiempo

Caudal ecológico: la cantidad de agua mínima necesaria para preservar los valores ecológicos en el cauce de aguas superficiales.

Contaminación: la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente.

Cuenca hidrográfica: es una unidad territorial natural que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal (Brooks, 1985).

Cultivo intensivo: sistema de crianza en confinamiento o cautiverio y a densidades mucho mayores de las que soportan los ecosistemas naturales. Requiere de alimentación artificial con raciones formuladas.

Especie hidrobiológica: especie de organismo en cualquier fase de su desarrollo, que tenga en el agua su medio normal o más frecuente de vida. (DS n°290, 1993)

Impacto ambiental: es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada. (Ley nº19300, 1994)

Indicador ambiental: es una medida, generalmente cuantitativa, que puede ser utilizada para ilustrar y comunicar fenómenos ambientales complejos, incluyendo las tendencias y los avances en el tiempo y que por lo tanto ayuda a dar una idea de la situación del medio ambiente. Desde un punto de vista de la gestión de los recursos, un indicador ambiental debe permitir: i) proporcionar información acerca del estado actual y los posibles cambios sobre el medio ambiente; ii) permitir a los gestores entender las relaciones causa –efecto; iii) permitir evaluar la efectividad de las distintas políticas desarrolladas (EEA, 2005; OECD, 1999).

Norma de emisión: aquella que establece la cantidad máxima permitida de un contaminante medido en el efluente de la fuente emisora. (Ley Nº 19.300)

Norma secundaria calidad ambiental: aquélla que establece los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. (Ley Nº 19.300)

Uso consuntivo del agua: es el volumen de agua que una vez utilizada no retorna al sistema en un tiempo suficientemente apropiado como para su utilización por otros usuarios, ya sea porque es evaporada, transpirada, incorporada a un producto, consumida por el hombre o la ganadería, contaminada o vertida a un sistema diferente al evaluado o al mar, entre otras posibilidades (EEA, 2013; Garrido et al., 2010).

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ayala, L. 2010. Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico”. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago, Chile

Asociación de la Industria del Salmón A.G. (SalmónChile). 2016. Recuperado de <http://www.salmonchile.cl/es/salmonicultura.php> (10-05-2018)

AQUA. 2015. Revista AQUA. Acuicultura con vocación de pequeña escala Pag. 50.

AQUA. 2016. En 2019 la producción mundial de salmón volvería a tener niveles del año pasado. Recuperado de <http://www.aqua.cl/2016/06/30/en-2019-la-produccion-mundial-de-salmon-volveria-a-tener-niveles-del-ano-pasado/#>

AQUA. 2017. Agua dulce: Disponibilidad amenazada. Recuperado de [http://www.aqua.cl/reportajes/agua-dulce-disponibilidad-amenazada/\(05-10-2018\)](http://www.aqua.cl/reportajes/agua-dulce-disponibilidad-amenazada/(05-10-2018))

Banco Mundial, 2011. Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Región para América Latina y el Caribe.

Barlow, M. 2009. El convenio azul: la crisis global del agua y la batalla futura por el derecho al agua. Heinrich Böll Stiftung, Cono Sur.

Basulto, S. 2003. El largo viaje de los salmones. Una Crónica Olvidada. Propagación y cultivo de especies acuáticas en Chile. Editorial Malva. Chile. 299 pp

Bayart, J. B., Worbe, S., Grimaud, J., & Aoustin, E. 2014. The Water Impact Index: a simplified single-indicator approach for water footprinting. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(6), 1336-1344.

Buschmann, A. 2003. Acuicultura y ambiente: un análisis bibliográfico de los avances y restricciones para una producción sustentable en sistemas acuáticos.

Chapagain, A. K. & Orr, S. 2009. An improved water footprint methodology to link global consumption to local water resources: A case study of Spanish tomato consumption. *Journal of Environmental Management*. 90, 1219–1228.

CINARA (Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento ambiental y Conservación del recurso Hídrico). Desarrollo de una metodología específica para medición de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad en la producción de tilapia, trucha y cachama, con implementación en un proyecto demostrativo en el Valle del Cauca. Cali: CINARA; 2015. Documento preparado por Federación Colombiana de Acuicultura, FEDEACUA.

Contreras, M. 2010. Calidad de aguas y contaminación: etapa diagnóstica. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Santiago, Chile.

Dirección General de Aguas (DGA). 1987. Balance hídrico de Chile. DGA. Santiago de Chile.

Dirección General de Aguas (DGA). 2016. “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea” disponible en [www: http://snia.dga.cl/BNAConsultas/](http://snia.dga.cl/BNAConsultas/)

Dirección General de Aguas y Ministerio de Obras Públicas (DGA y MOP). 2016. Atlas del agua Chile. Santiago de Chile.

D.S. N°9. Santiago 2 de marzo de 2015. Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío. 5 pp. Chile

D.S. N°95. 2008. Chile. Modifica reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile, 29 de noviembre de 2008.

Dynesius, M., & Nilsson, C. 1994. Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. *Science*, 266(5186), 753–762. <https://doi.org/10.1126/science.266.5186.753>

EULA. 2016. Monitoreo para la vigilancia de la norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río Biobío.

FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Oportunidades y desafíos. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, Roma.

FAO. 2016. *Sitio web AQUASTAT*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Accedido el [2017/10/10].

Falkenmark, M. & Rockström J. (2004). *Balancing Water for Humans and Nature: The New Approach in Eco-hydrology*. London: Routledge.

Falkenmark, M. & Rockström, J. (2006). The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129-132.

Fundación Chile, s.f. Huella hídrica para un futuro eficiente del agua. Acceso [https://fch.cl/sociales/huella-hidrica-para-un-futuro-eficiente-del-agua/\(03-02-2018\)](https://fch.cl/sociales/huella-hidrica-para-un-futuro-eficiente-del-agua/(03-02-2018))

Fundación Chile, Agualimpia – Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo COSUDE. 2016. Manual de aplicación para evaluación de huella hídrica acorde a la norma ISO 14046. Elaborado con la colaboración de Quantis, en el marco del proyecto Suizagua Andina Chile y Perú para la Embajada de Suiza, Agencia para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Chile.

Hoekstra, A.Y., & Hung, P.Q. 2002. Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11.

Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. 2011. The water footprint assesment manual: Setting the global standard. Earthscan, London

Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K. & Zhang, G. P. 2016. Water footprints and sustainable water allocation. Sustainability, 8(6), 2 -23.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2007. Censo Agrícola. Santiago, Chile.

Instituto de fomento pesquero (IFOP). Mayo de 2013. Experiencia internacional en el uso del DEPOMOD para acuicultura. Chile.

ISO 14046. 2014. Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines.

Ley N° 19.300. Sobre bases generales del medio ambiente. Modificada por la Ley 20.173. Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile, 27 marzo de 2007.

Linnaeus, C. 1758. Tomus I. Syst. nat., ed. 10. Holmiae, Laurentii Salvii: [1-4], 1-824.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). 2016. Monitoreo para la vigilancia de la Norma Secundaria de Calidad de aguas de la Cuenca del Río Biobío. 183 pp. (realizada por Centro EULA abril de 2016)

Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M. y Revenga C. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science*, 308, pp. 405-408.

Novoa, V., Rojas, O., Arumí, J.L., Ulloa, C., Urrutia, R. & Rudolph, A. 2016. Variabilidad de la huella hídrica del cultivo de cereales, río Cachapoal, Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 2(2), 35-50.

Pérez et al. 2017. Metodología para la medición de la huella hídrica en la producción de tilapia, cachama y trucha: estudios de caso para el Valle del Cauca (Colombia). *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*. 19. . 10.25100/iyc.v19i2.5298.

PNUD. 2006. Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Grupo Mundi-Prensa. 422p.

ODEPA. (2018). Información Regional - Región del Biobío. Recuperado de <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Biobio.pdf>

OECD. 1999. Environmental Indicators for Agriculture: Volume 1 Concepts and Frameworks. Paris

OECD. 2005. Environmental Performance Reviews: Chile. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) and Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) of the United Nations. Paris.

Rodríguez-Casado, A., Garrido, M., Llamas, R. & Varela-Ortega, C.. 2009. La huella hidrológica de la agricultura española. Papeles de Agua Virtual. 2: 5-34

Saavedra, M., López, A. 2006. Costo eficiencia para control de contaminación en ríos. Aplicación a una sección de la cuenca del río Biobío. Revista Economía y Administración N°66.

Salazar, C. 2003. Situación de los recursos hídricos en Chile. Con el apoyo de la Fundación Nippon. Centro del Tercer Mundo para el Manejo del Agua, A. C., México

Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA). 2012. Fichas ícticas de especies para la pesca recreativa en Chile

Troel et al. 2005. Biological wastewater treatment in aquaculture more than just bacteria. World aquaculture .36 (1): 27-29

Valdovinos, Claudio & Parra, Oscar, 2006 “La Cuenca del Río Biobío: Historia Natural de un Ecosistema de Uso Múltiple”. Centro Estudios Ambientales EULA, Universidad de Concepción.

WWDR3. 2009. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2009. El agua en un mundo en cambio

WWDR. 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2015. Agua para un mundo sostenible.

## 8 ANEXOS

### Anexo 1

Imágenes satelitales de las pisciculturas estudiadas.

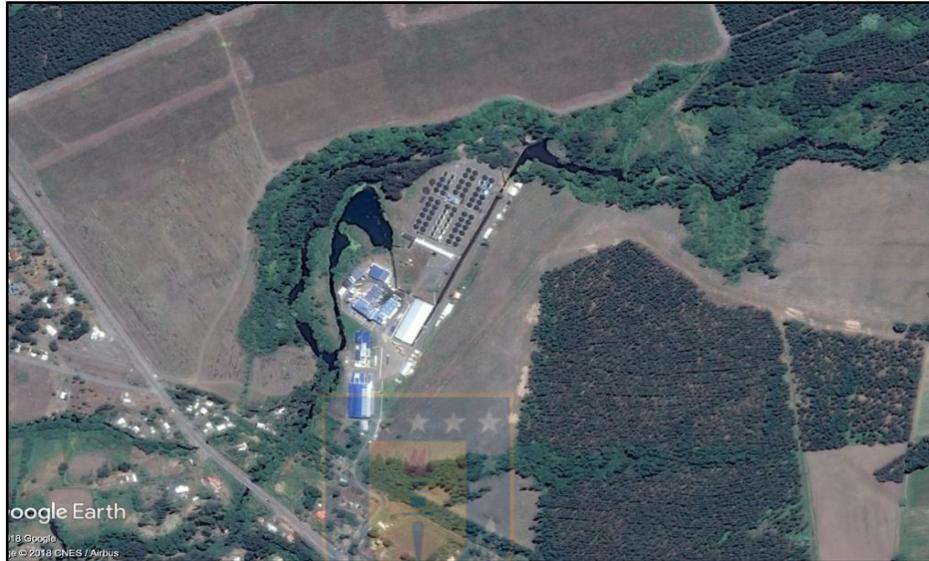


Figura 1. Piscicultura Coreo Fuente: Google Earth, 2018.



Figura 2. Piscicultura El Peral. Fuente: Google Earth, 2018



Figura 3. Piscicultura El Peumo. Fuente: Google Earth, 2018



Figura 4. Piscicultura Kudiñam. Fuente: Google Earth, 2018



Figura 5. Piscicultura Ketrún Rayén. Fuente: Google Earth, 2018

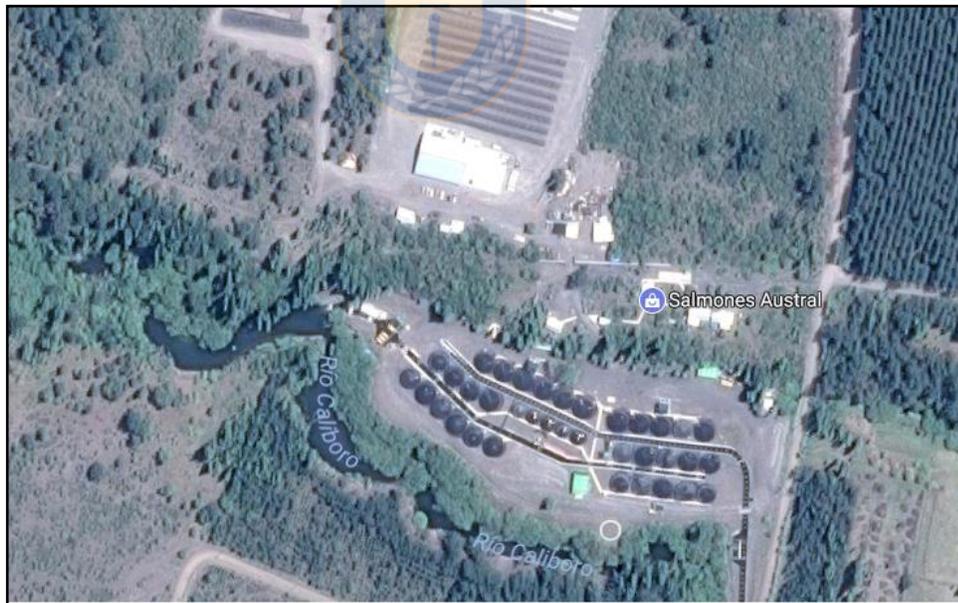


Figura 6. Piscicultura STH. Fuente: Google Earth, 2018

## Anexo 2

Resultados muestreos realizados por centro EULA en 2015 y 2016 en las aguas superficiales de la cuenca del río Biobío

Comparación de las variables fisicoquímicas obtenidas en las estaciones de los principales tributarios del Río Biobío en agosto de 2015, con los límites propuesto para la Red de control oficial del D.S.9/2015 MMA. Se destacan en negro aquellas que han sobrepasado estos límites (N=valor normado).



Fósforo Total	DQO	DBO5	Conductividad	Colif. Fecales	Cloruro	AOX	Nitrógeno de Amonio mg N-NH4/L	Aluminio Total	Parámetro
mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	NIMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	Unidad
<b>0,05</b>	9	2	<b>80</b>	1000	4	0,01	0,02	0,4	<b>BU-10N</b>
<b>0,10</b>	<2,0	<1,0	<b>89,5</b>	6,1	1,77	<0,010	<0,016	*	<b>BU-10</b>
0,05	6	2	120	1000	4	0,02	0,03	0,4	<b>DU-10N</b>
0,04	2,9	<1,0	89,5	130	2,84	<0,010	<0,016	*	<b>DU-10</b>
<b>0,02</b>	3	2	80	50	3	0,002	0,02	0,4	<b>LA-10N</b>
<b>0,03</b>	3,0	1,1	64,7	<1,8	1,28	<0,010	<0,016	*	<b>LA-10</b>
<b>0,02</b>	3	2	95	50	3	0,006	0,03	0,4	<b>LA-20N</b>
<b>0,07</b>	<2,0	1,4	75,3	17	1,43	<0,010	<0,016	*	<b>LA-20</b>
0,1	8	2	150	500	3	0,01	0,02	0,4	<b>LA-30N</b>
0,04	2,0	1,3	83,2	11	1,84	<0,010	<0,016	*	<b>LA-30</b>
<b>0,03</b>	6	2	<b>60</b>	50	4	0,002	0,02	0,4	<b>MA-10N</b>
<b>0,06</b>	4,6	<1,0	<b>62,8</b>	8,2	2,00	<0,010	<0,016	*	<b>MA-10</b>
<b>0,02</b>	7	2	60	50	5	0,002	0,02	0,4	<b>RE-10N</b>
<b>0,04</b>	3,2	1,7	52,8	4,5	1,71	<0,010	<0,016	*	<b>RE-10</b>
0,06	10	2	80	500	6	0,03	<b>0,03</b>	0,4	<b>VE-10N</b>
0,06	5,5	1,3	60,5	193,3	2,30	<0,010	<b>0,031</b>	*	<b>VE-10</b>

Sulfato	Sól. Suspendidos	pH	Oxígeno Disuelto	Orto-Fosfato	Nitrógeno Total	Nitrógeno de Nitrito	Nitrógeno de Nitrato	Índice de Fenol	Hierro Total
mg/L	mg/L	-	mg/L	mg PO4/L	mg/L	mg NO2/L	mg N-NO3/L	mg/L	mg/L
5	<b>10</b>	6,5-8,5	9	0,02	0,4	0,006	<b>0,2</b>	0,003	0,3
1,28	<b>10,9</b>	7,28	11,1	<0,012	0,37	<0,0015	<b>0,342</b>	<0,001	0,028
5	5	6,5-8,5	9	<b>0,01</b>	<b>0,6</b>	0,003	<b>0,2</b>	0,003	0,4
3,25	1,5	7,18	10,2	<b>0,050</b>	<b>1,02</b>	<0,0015	<b>0,570</b>	<0,001	0,220
7	2	6,5-8,5	9	<b>0,01</b>	0,1	0,002	0,04	0,002	0,3
6,63	<1,0	8,04	10,8	<b>0,023</b>	0,03	<0,0015	<0,001	<0,001	<0,003
6	2	6,5-8,5	8,7	0,02	0,1	0,002	<b>0,03</b>	0,003	0,3
4,9	1,1	8,4	9,5	<0,012	0,09	<0,0015	<b>0,031</b>	<0,001	0,043
6	5	6,5-8,5	8,7	<b>0,02</b>	0,3	0,002	0,15	0,003	0,3
5,04	4,2	8,18	9,9	<b>0,057</b>	0,22	<0,0015	0,145	<0,001	0,066
5	5	6,5-8,5	<b>10</b>	0,01	<b>0,2</b>	0,002	<b>0,04</b>	0,002	0,3
1,34	3,6	7,24	<b>9,7</b>	<0,012	<b>0,61</b>	<0,0015	<b>0,437</b>	<0,001	0,092
5	5	6,5-8,5	9	0,01	<b>0,1</b>	0,002	<b>0,03</b>	0,002	0,4
0,86	2,2	7,51	10,4	<0,012	<b>0,32</b>	<0,0015	<b>0,257</b>	<0,001	0,055
10	6	6,5-8,5	9	0,05	<b>0,4</b>	0,01	<b>0,2</b>	0,004	0,4
1,46	4,8	7,55	11,2	0,037	<b>0,78</b>	<0,0015	<b>0,395</b>	<0,001	0,115

Fuente: Monitoreo de la calidad del agua de la cuenca del río Biobío. MMA, 2016.

## Tabla 2

Comparación de las variables físico químicas obtenidas en las estaciones de los principales tributarios del Río Biobío en diciembre de 2015 con los límites propuesto para la Red de control oficial del D.S.9/2015 MMA. Se destacan en negro aquellas que han sobrepasado estos límites (N=valor normado).



Orto-Fosfato	Nitrógeno Total	Nitrógeno de Nitrito	Nitrógeno de Nitrato	Índice Fenol	Hierro Total	Fósforo Total	DOO	DBO5	Conductividad	Colif. Fecales	Cloruro	AOX	Nitrógeno de Amonio	Aluminio Total	Parámetro
mg PO <sub>4</sub> /L	mg/L	mg NO <sub>2</sub> /L	mg NO <sub>3</sub> /L	ug/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	NMP/100 ml	mg/L	mg/L	mg NH <sub>4</sub> /L	mg/L	Unidad
0,02	0,4	0,006	0,2	0,003	0,3	0,05	9	2	80	1000	4	0,01	0,02	0,4	BU-10N
0,012	0,15	<0,0015	0,114	0,0021	0,111	0,04	6	1,3	40,1	79	2,26	<0,010	<0,016	0,14	BU-10
0,01	0,6	0,003	0,2	0,003	0,4	0,05	6	2	120	1000	4	0,02	0,03	0,4	DU-10N
0,037	0,55	<0,0015	0,532	0,0021	0,022	0,05	4	1,9	59,4	23	3,19	0,010	<0,016	<0,06	DU-10
0,01	0,1	0,002	0,04	0,002	0,3	0,02	3	2	80	50	3	0,002	0,02	0,4	LA-10N
0,032	0,07	<0,0015	0,005	0,0013	<0,003	0,06	4	<1,0	38,2	<1,8	1,03	<0,010	<0,016	<0,06	LA-10
0,02	0,1	0,002	0,003	0,003	0,3	0,02	3	2	95	50	3	0,006	0,03	0,4	LA-20N
0,042	0,18	<0,0015	0,173	0,0020	0,009	0,06	4	1,4	65,5	49	1,68	<0,010	<0,016	0,06	LA-20
0,02	0,3	0,002	0,15	0,003	0,3	0,1	8	2	150	500	3	0,01	0,02	0,4	LA-30N
0,064	0,20	<0,0015	0,127	0,0021	0,016	0,05	6	2,2	72,5	2,0	2,02	0,012	<0,016	0,08	LA-30
0,01	0,2	0,002	0,04	0,002	0,3	0,03	6	2	60	50	4	0,002	0,02	0,4	MA-10N
0,042	0,40	<0,0015	0,148	0,0020	0,057	0,07	7	1,1	40,2	170	1,99	<0,010	<0,016	0,16	MA-10
0,01	0,1	0,002	0,03	0,002	0,4	0,02	7	2	60	50	5	0,002	0,02	0,4	RE-10N
0,016	0,18	<0,0015	0,071	0,0021	0,034	0,07	5	1,3	37,9	33	2,13	<0,010	<0,016	0,11	RE-10
0,05	0,4	0,01	0,2	0,004	0,4	0,06	10	2	80	500	6	0,03	0,03	0,4	VE-10N
0,047	0,46	<0,0015	0,211	0,0014	0,005	0,21	7	1,4	50,3	78,7	2,74	<0,010	0,023	0,17	VE-10

Sulfato	Sól. Suspendidos	pH	Oxig. Disuelto
mg/L	mg/L	-	mg/L
5	10	6,5-8,5	9
2,23	1,8	7,38	11,0
5	5	6,5-8,5	9
4,72	<1,0	7,39	9,8
7	2	6,5-8,5	9
6,49	<1,0	7,10	12,9
6	2	6,5-8,5	8,7
4,98	<1,0	7,58	10,8
6	5	6,5-8,5	8,7
4,98	7,0	7,69	9,0
5	5	6,5-8,5	10
1,79	1,2	7,45	10,6
5	5	6,5-8,5	9
1,88	1,2	7,21	10,4
10	6	6,5-8,5	9
2,27	3,4	7,11	9,6

Fuente: Monitoreo de la calidad del agua de la cuenca del río Biobío. MMA, 2016.

