



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

“EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE  
ASOCIADA A LA CUENCA DEL RÍO BIOBÍO PARA  
IDENTIFICAR LOS PELIGROS ANTRÓPICOS QUE  
AFECTAN A LA PLANTA LA MOCHITA, EN EL CONTEXTO  
DE PLANES DE SEGURIDAD DEL AGUA”

Habilitación presentada para optar al título de  
**Ingeniero Ambiental**

**CARLA VALESKA ORTEGA RIVAS**

Profesora guía: Ph. D. Ana Carolina Baeza Freer

Profesora Co-Guía: Dra. Patricia González Sánchez

Comisión: Dr. Oscar Parra Barrientos

Dr. Octavio Rojas Vilches

CONCEPCIÓN (Chile), 2018.



Universidad de Concepción



**“Evaluación de la información disponible asociada a la Cuenca del río Biobío para identificar los peligros antrópicos que afectan a la Planta La Mochita, en el contexto de planes de seguridad del agua”**

<b>PROFESOR GUÍA:</b>	<b>Dra. Ana Carolina Baeza Freer</b>
<b>PROFESOR CO - GUÍA:</b>	<b>Dra. Patricia González Sánchez</b>
<b>PROFESOR COMISIÓN:</b>	<b>Dr. Oscar Parra Barrientos</b>
<b>PROFESOR COMISIÓN:</b>	<b>Dr. Octavio Rojas Vilches</b>

**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 de 2018**

## INDICE

INDICE FIGURAS .....	v
INDICE DE TABLAS .....	viii
AGRADECIMIENTOS .....	xi
RESUMEN .....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
a. Objetivo General. ....	4
b. Objetivos Específicos. ....	4
3. ANTECEDENTES.....	4
3.1 Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). ....	4
3.2 Plan de Seguridad de Agua (PSA). ....	5
3.3 Objetivos PSA.....	6
3.4 Enfoque de PSA. ....	7
3.5 Componentes de un PSA. ....	8
3.6 Metodología de elaboración de PSA.....	10
3.7 Experiencia Mundial PSA. ....	13
3.8 Implementación de Planes de Seguridad del Agua. ....	15
3.8.1 Barreras en la implementación en un PSA. ....	15
3.8.2 Beneficios tras la implementación de un PSA. ....	16
3.9 Contexto Nacional: Gestión Sanitaria en Chile. ....	20
3.9.1 Servicios sanitarios en Chile. ....	20
3.9.2 Marco Normativo del sector sanitario en Chile. ....	21
3.9.3 Situación Planes de Seguridad del Agua en Chile.....	25
4. METODOLOGÍA.....	25
4.1 Descripción Área de Estudio.....	25
□ Planta La Mochita .....	26

□ Cuenca del río Biobío .....	27
4.2 Metodología asociada a objetivos específicos.....	28
I. Objetivo específico 1: Análisis de las atribuciones de la institucionalidad asociada a la gestión del agua en el contexto de PSA. ....	28
II. Objetivo específico 2: Sintetizar la información disponible de la cuenca de captación de la Planta “La Mochita” en el contexto de PSA. ....	29
III. Objetivo específico 3: Identificar los peligros antrópicos existentes en la cuenca según la información disponible. ....	35
IV. Objetivo específico 4: Determinar las brechas de información para la implementación de un PSA en la cuenca del Biobío. ....	36
5. RESULTADOS .....	37
5.1 Resultados para el Objetivo específico 1: Análisis de las atribuciones de la institucionalidad asociada a la gestión del agua en el contexto de PSA.....	37
a. Ministerio de Obras Públicas .....	40
b. Ministerio de Salud – SEREMI Región del Biobío.....	41
c. Ministerio Medio Ambiente – SEREMI Región del Biobío .....	42
d. Ministerio de Energía - SEREMI Región del Biobío .....	43
e. Ministerio de Agricultura – SEREMI Región del Biobío.....	43
f. Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININT) .....	44
g. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.....	45
h. Incorporación de privados en un equipo de PSA.....	46
5.2 Resultados para el Objetivo específico 2: Sintetizar la información disponible de la cuenca de captación de la Planta La Mochita en el contexto de PSA. ...	47
i. Usos de Agua en la Cuenca del río Biobío .....	47
a. Riego.....	47
b. Captación para Agua Potable .....	47
c. Captaciones Industriales.....	48

d.	Generación Hidroeléctrica.....	48
e.	Descarga de aguas servidas y residuos domésticos .....	51
f.	Descarga de efluentes industriales .....	51
ii.	Monitoreo en la Cuenca del río Biobío .....	54
a.	Estaciones de Monitoreo Pluviométricas (DGA) .....	57
b.	Estaciones de Monitoreo Fluviométricas (DGA) .....	58
c.	Estaciones de Calidad de Agua de la Dirección General de Aguas.....	63
d.	Estaciones de Calidad de Agua del Programa de Monitoreo del Biobío	66
iii.	Análisis Clases de Calidad de Agua Estación BB11 .....	67
a.	AOX (mg/L).....	70
b.	Coliformes Fecales (NMP/100ml) .....	74
c.	Conductividad ( $\mu$ S/cm).....	77
d.	Fósforo Total (mg/L) .....	79
e.	Nitrato (mg/L) .....	81
f.	Nitrito (mg/L) .....	84
g.	Nitrógeno Total (mg/L) .....	87
5.3	Resultados para el Objetivo específico 3: Identificar los peligros antrópicos existentes en la cuenca según la información disponible. ....	89
5.4	Resultados para el Objetivo específico 4: Determinar las brechas de información para la implementación de un PSA en la cuenca del río Biobío. .	91
i.	Actividad Agrícola .....	91
ii.	Actividad Ganadera .....	92
iii.	Actividad Industrial.....	93
iv.	Actividad Hidroeléctrica.....	97
v.	Accidentes Ferroviarios.....	98
vi.	Piscicultura .....	98

vii. Monitoreo en la cuenca.....	99
6. CONCLUSIÓN.....	101
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
8. ANEXOS.....	115
Anexo 1: Análisis de Puntos Críticos de Control.....	115
Anexo 2: Definición de metas y objetivos de salud.....	116
Anexo 3: Información necesaria para evaluar un sistema de abastecimiento	118
Anexo 4: Instituciones de interés en la justificación de peligros antrópicos ..	119
Anexo 5: Casos de estudio internacionales PSA.....	120
Anexo 6: Potenciales Juntas de Vigilancia Región del Biobío .....	123
Anexo 7: Canales de regadío Cuenca del río Biobío .....	124
Anexo 8: Empresas que descargan en la cuenca del río Biobío.....	126
Anexo 9: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la cuenca del río Biobío	132
Anexo 10: Estaciones Pluviométricas DGA .....	133
Anexo 11: Estaciones Fluviométricas DGA .....	136
Anexo 12: Estaciones de Calidad de Agua DGA .....	139
Anexo 13: Parámetros monitoreados por estación y normativa asociada - DGA	141
Anexo 14: Parámetros Monitoreados en PMBB periodo 2007-2016 .....	144
Anexo 15: Eventos peligrosos y peligros naturales identificados para la cuenca	145
del río Biobío.....	

## INDICE FIGURAS

Figura 1. Enfoque preventivo e integrado denominado Plan de Seguridad de Agua. .....	3
Figura 2. Comparación de enfoques en términos de seguridad del agua. ....	6
Figura 3. Principales objetivos de un PSA. ....	7
Figura 4. Interrelación de componentes para el aseguramiento del agua potable. .	9
Figura 5. Interacción de los once módulos de la metodología OMS “Manual para la elaboración de planes de seguridad del agua” .....	13
Figura 6. Estado global de implementación de PSA. ....	14
Figura 7. Estado global de implementación de políticas y regulaciones que promueven o exigen PSA.....	15
Figura 8. Beneficios reportados por un total de 51 países que poseen resultados tras implementar PSA. ....	19
Figura 9. Resumen proceso de potabilización del agua en la Planta “La Mochita”. .....	26
Figura 10. Áreas de Vigilancia (AV) NSCA del río Biobío .....	31
Figura 11. Distribución de la actividad hidroeléctrica actual y proyectada en la cuenca.....	50
Figura 12. Densidad de población por comuna y riles (industriales y domiciliarios). .....	52
Figura 13. Red Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas DGA, estaciones calidad de agua PMBB EULA-Chile y áreas de vigilancia NSCA Biobío, junto a sus principales subcuencas. ....	55
Figura 14. Ubicación Planta “La Mochita” en la cuenca del río Biobío. .....	56
Figura 15. Estaciones con 20 años de reportes pluviométricos, ubicadas en el cauce principal, río Biobío.....	57
Figura 16. Estaciones con 20 años de reportes pluviométricos ubicadas en afluentes del Biobío. ....	57
Figura 17. Ubicación estaciones fluviométricas utilizadas para estudiar variabilidad de caudales en la cuenca del río Biobío.....	60

Figura 18. Comportamiento de caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) por estación, periodo 2004-2012. ....	60
Figura 19. Comportamiento de caudales medios mensuales (m <sup>3</sup> /s) por estación, periodo 2004-2012. ....	61
Figura 20. Precipitaciones medias mensuales (mm) periodo 2007-2012 estación embalse Ralco.....	62
Figura 21. Precipitaciones medias mensuales (mm) periodo 2007-2012 estación embalse Pangue. ....	62
Figura 22. Distribución temporal AOX (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11. ....	71
Figura 23. Comparación niveles de AOX (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	72
Figura 24. Distribución de datos monitoreo AOX (mg/L) desde 2007 a 2016. ....	73
Figura 25. Distribución temporal Coliformes Fecales (NMP/100ml), periodo 2007-2016, estación BB11. ....	74
Figura 26. Comparación niveles de Coliformes (NMP/100ml) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	75
Figura 27. Distribución de datos monitoreo Coliformes Fecales (NMP/100ml) desde 2007 a 2016. ....	76
Figura 28. Distribución temporal Conductividad (µs/cm), periodo 2007-2016, estación BB11. ....	77
Figura 29. Comparación niveles de Conductividad (µS/cm) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	78
Figura 30. Distribución de datos monitoreo Conductividad (µS/cm) desde 2007 a 2016. ....	78
Figura 31. Distribución temporal Fósforo Total (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11. ....	79
Figura 32. Comparación niveles de Fósforo Total (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	80
Figura 33. Distribución de datos monitoreo Fósforo Total (mg/L) desde 2007 a 2016. ....	81

Figura 34. Distribución temporal Nitrato (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11. .....	82
Figura 35. Comparación niveles de Nitrato (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	83
Figura 36. Distribución de datos monitoreo Nitrato (mg/L) desde 2007 a 2016. ...	84
Figura 37. Distribución temporal Nitrito (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11. .....	85
Figura 38. Comparación niveles de Nitrito (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	86
Figura 39. Distribución de datos monitoreo Nitrito (mg/L) desde 2007 a 2016.....	86
Figura 40. Distribución temporal Nitrógeno Total (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11. ....	88
Figura 41. Comparación niveles de Nitrógeno Total (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).....	88
Figura 42. Distribución de datos monitoreo Nitrógeno Total (mg/L) desde 2007 a 2016. ....	89
Figura 43. Comparación de niveles de Fósforo Total aportados por comunas pertenecientes a la cuenca del río Biobío. ....	94
Figura 44. Empresas de mayor aporte Fósforo Total (ton/año) en la Comuna de Los Ángeles. ....	94
Figura 45. Empresas de mayor aporte Fósforo Total (ton/año) en la Comuna de Laja. ....	95
Figura 46. Comparación de niveles de Nitrógeno Kjeldahl aportados por comunas pertenecientes a la cuenca del río Biobío. ....	96
Figura 47. Empresas de mayor aporte Nitrógeno Kjeldahl (ton/año) en la Comuna de Nacimiento. ....	96
Figura 48. Empresas de mayor aporte Nitrógeno Kjeldahl (ton/año) en la Comuna de Collipulli.....	97

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bibliografía de beneficios tangibles a corto plazo luego de implementar PSA.....	17
Tabla 2. Resumen Áreas de Vigilancia establecidas en la NSCA de la cuenca del río Biobío.....	32
Tabla 3. Clases de Calidad propuesta por el MMA para cada parámetro evaluado en la Cuenca del río Biobío.....	33
Tabla 4. Identificación de las Clases de Calidad de Agua propuesta por el MMA.	34
Tabla 5. Ejemplos Eventos peligrosos y peligros identificados en el manual para el desarrollo de PSA.....	35
Tabla 6. Instituciones públicas que considerar en un posible equipo de Plan de Seguridad del Agua en la cuenca del río Biobío.....	39
Tabla 7. Ubicación de las centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Biobío. ..	49
Tabla 8. Ubicación de proyectos de centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Biobío.....	50
Tabla 9. Actividades y Usos de Suelo en la Cuenca del río Biobío por Área de Vigilancia.....	53
Tabla 10. Estaciones con al menos 25 años reportados de enero a diciembre, caudales medios mensuales.....	58
Tabla 11. Parámetros físico-químicos reportados en la estación “río Biobío antes Planta La Mochita” y normados en NSCA río Biobío.....	64
Tabla 12. Identificación de las estaciones del PMBB.....	66
Tabla 13. Clases de Calidad de Agua obtenida para cada uno de los parámetros incluidos en la NSCA del río Biobío respecto a 3 medidas estadísticas, en la estación BB11 del PMBB (2007-2016).....	68
Tabla 14. Clases de Calidad de Agua obtenida para cada uno de los parámetros incluidos en la NSCA del río Biobío respecto a 3 medidas estadísticas, en la estación BB11 del PMBB (2007-2016).....	69
Tabla 15. Resumen eventos peligrosos (fuentes de peligro) y peligros antrópicos identificados para la cuenca del río Biobío.....	90

Tabla 16. Resumen de las comunas con mayor superficie utilizada en actividad agrícola-ganadera, correspondiente al censo agropecuario y forestal 2007 .....	92
Tabla 17. Principios que conforman el actual sistema de APPCC. .....	115
Tabla 18. Resumen de los criterios para establecimiento de las metas, sus características, principales aplicaciones e instrumentos de evaluación. .....	117
Tabla 19. Ejemplo de información útil para evaluar un sistema de abastecimiento de agua de consumo .....	118
Tabla 20. Principales Instituciones de interés en la justificación de peligros y eventos peligrosos (antrópicos). .....	119
Tabla 21. Equipo PSA - Melbourne Australia (Aguas Melbourne y representantes de 3 compañías minoristas de agua potable).....	120
Tabla 22. Equipo PSA Guyana (Miembros del Comité Directivo y otros Socios). 121	
Tabla 23. Equipo PSA Binacional Perú-Ecuador.....	122
Tabla 24. Juntas de Vigilancia Potenciales año 2011, región del Biobío .....	123
Tabla 25. Canales de regadíos existentes en la Cuenca del río Biobío. .....	124
Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío. ....	126
Tabla 27. Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), curso receptor y áreas de vigilancia a la cual pertenece. ....	132
Tabla 28. Resumen estaciones pluviométricas DGA, en la cuenca del río Biobío. .....	133
Tabla 29. Resumen Estaciones Fluviométricas DGA “Caudales Medios Mensuales” Cuenca del Biobío. ....	136
Tabla 30. Estaciones de calidad de aguas con información continua desde fecha de inicio al año 2016. ....	139
Tabla 31. Estaciones de calidad de aguas con menos de 30 muestreos desde el año de inicio al año 2016. ....	140
Tabla 32. Resumen parámetros físico-químicos monitoreados por estación. ....	141

Tabla 33. Resumen estaciones de calidad de aguas PMBB correspondiente a afluentes de la cuenca del río Biobío, con datos de muestreo periodo 2007-2016. .... 144

Tabla 34. Resumen eventos peligrosos y peligros naturales identificados para la cuenca del río Biobío..... 145



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero comenzar agradeciendo a mis padres, por todo el respeto y apoyo que me otorgaron durante la realización de este trabajo y en toda mi etapa universitaria. Gracias a mis hermanos por todo el amor y la confianza que depositaron siempre en mí, motivándome a seguir adelante en todo momento.

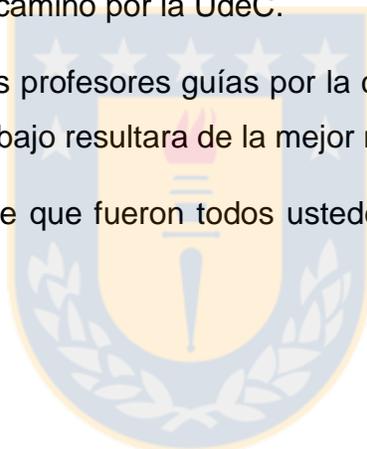
Estoy orgullosa de ser la primera profesional de la familia gracias a ustedes.

A mi amigo y pololo Ignacio por ser mi soporte, confidente y compañero en las buenas y en las malas.

A mis amigos y compañeros de vida por el apoyo y los grandes momentos que pasamos a lo largo de este camino por la UdeC.

Finalmente, agradecer a mis profesores guías por la colaboración y el entusiasmo entregado para que este trabajo resultara de la mejor manera.

Nunca olvidaré lo importante que fueron todos ustedes en este proceso. Muchas Gracias.



## RESUMEN

El acceso al agua potable, se considera un derecho humano fundamental y un componente esencial para la vida de las personas. La OMS define agua potable, como aquella que puede beberse sin peligro, pues no provoca ningún daño para la salud (OMS, 2004).

A lo largo de la historia los episodios de contaminación microbiológica y química en el agua potable han conducido a enfermedades y muertes en todo el mundo (Altmann *et al.*, 1999). Durante décadas, la gestión de riesgos en el suministro de agua potable se enfocó al final de la cadena productiva, realizando control de laboratorio al agua previo a la entrega a los consumidores; haciendo tardía cualquier respuesta para prevenir episodios de contaminación en el agua potable.

El año 2004, la Organización Mundial de la Salud (OMS), planteó la necesidad de realizar un enfoque preventivo (Hrudey y Hrudey, 2004), a través de una metodología denominada Planes de Seguridad del Agua (en adelante PSA), en el cual la calidad del agua potable se pueda controlar utilizando una combinación de medidas como la protección en las fuentes de captación, control de operaciones de tratamiento y gestión en la distribución y manipulación del agua potable (Lindhe, 2010). Para facilitar la utilización de esta nueva metodología de evaluación y gestión de riesgos, la OMS publicó el año 2009, un manual para aplicar PSA en suministros de agua potable (OMS, 2009).

La aplicación de esta metodología es transversal; ha sido aplicada en grandes sistemas de producción de agua potable urbana en suministros más pequeños y de uso rural (Godfrey y Howard, 2004; Vieira y Morais, 2005; Rosén, *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2012).

En el caso de Chile, aún no existen PSA y la gestión sanitaria se enfocan en el cumplimiento normativo de requisitos básicos de la prestación de servicios sanitarios, calidad de agua potable; y en planes de emergencia ante situaciones derivadas de catástrofes, cuyo foco está puesto en la protección de las personas afectadas por las consecuencias de eventos catastróficos que inciden en la provisión de servicios sanitarios de manera normal.

Nuestro país se ve constantemente expuesto a catástrofes que pueden generar problemas a la prestación de servicios sanitarios de agua potable y alcantarillado, estos fenómenos pueden ser naturales como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías y también antrópicos, como contaminación, vandalismo, explosiones entre otros. Por este motivo, es necesario contar con un enfoque preventivo como el planteado por la OMS.

Para verificar la posibilidad de aplicar la metodología de PSA en Chile, es necesario saber si la información existente y disponible permita evaluar y comprender los sistemas de suministro de agua potable, desde la cuenca hasta el consumidor final. Como la metodología de PSA se debe realizar en un prestador de servicios de agua potable se escogió trabajar en base a la Planta “La Mochita” ya que es la mayor planta potabilizadora de la región y capta aguas superficiales en la parte final de la cuenca del río Biobío.

Los principales resultados indican que a nivel nacional existe una superposición de atribuciones en cuanto a gestión de aguas y, que al ser muchos los organismos involucrados pueden existir dificultades al momento de tomar decisiones ya que cada institución vela por cumplir las funciones ministeriales que indica la ley.

Tras analizar la información disponible en la cuenca del río Biobío se identificó que los datos de monitoreo público poseen una discontinuidad que impide una correcta identificación de peligros en la cuenca, lo que presenta una de las principales brechas de información junto con el desconocimiento de los aportes de contaminación difusa (agricultura y ganadería).

Fue posible identificar gracias al registro del Programa de Monitoreo del Biobío que tanto en la estación más cercana a la captación, como en el resto de la cuenca los parámetros que requieren una mayor atención son el AOX, Coliformes Fecales y nutrientes. Se sugiere además el estudio de nuevos indicadores microbiológicos que puedan incluir la detección de virus, junto a un estudio más profundo sobre parámetros como el AOX (mg/L) para su incorporación al marco normativo chileno.

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad del agua potable es un tema que preocupa en países de todo el mundo, debido a su relación con la salud de la población. En 1990, el acceso a agua potable llegaba a 2.300 millones de personas y en el año 2015, esta cifra aumentó a 4.200 millones (ONU, 2015).

El suministro inadecuado de agua potable, constituye una de las mayores causas de morbilidad y mortalidad en el mundo (WHO, 2010). Se estima que casi una décima parte de la carga global de enfermedades podría evitarse mejorando la gestión de agua, saneamiento e higiene. La mala calidad del agua potable es un factor importante que contribuye a esta carga. Los brotes de enfermedades han demostrado que el enfoque convencional de cumplimiento normativo y seguimiento al agua potable al final de la cadena productiva no es suficiente para garantizar la seguridad (OMS, 2004).

Para evaluar el riesgo en sistemas de agua potable, se han utilizado diversas herramientas de evaluación gestión de riesgos (Westrell, 2004; Rosén *et al.*, 2007). La OMS presentó el año 2004, la tercera edición de las Guías para la Calidad de Agua Potable, en la cual por primera vez se incluyó un nuevo enfoque para evaluación y gestión de riesgos, denominado Plan de Seguridad de Agua (PSA); definiéndolo como la forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad y aceptabilidad del agua potable, a través de una visión preventiva y, abarcando todas las etapas del sistema de suministro de agua potable, desde la cuenca de captación hasta su distribución al consumidor final.

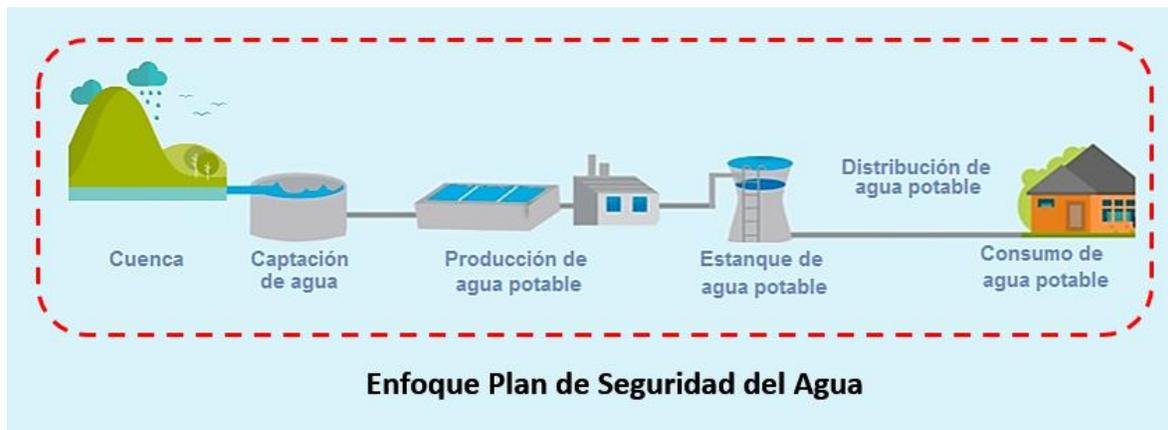
Posteriormente, en el año 2009, la OMS junto a la Asociación internacional del agua (IWA, International Water Association) elaboraron el Manual para el desarrollo de Planes de Seguridad del Agua: "*Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo*", cuyo objetivo es facilitar la elaboración de estos planes, entregando consejos y experiencias previas en distintas partes del mundo (OMS, 2009).

Los PSA están guiados por objetivos y metas sanitarias, también desarrolladas por la OMS (ver Anexo 1). El objetivo principal de la metodología de PSA es proteger la salud pública a través de la evaluación total del sistema, el monitoreo operativo y la adopción de planes de gestión y comunicación (Summerill *et al.*, 2010); mediante un mecanismo que identifica y evalúa de manera preventiva e integral los riesgos que afectan la seguridad del agua en términos de cantidad y calidad, en todas las etapas del suministro de agua potable. Por este motivo, es que los PSA deben reconocerse como instrumentos dentro de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). La metodología de PSA ha sido implementada en países de todo el mundo (Godfrey y Howard, 2004; Vieira y Morais, 2005; Mahmud *et al.*, 2007; Gunnarsdóttir y Gissurarson, 2008). En el caso de América Latina y el Caribe, existen aplicaciones en sistemas de suministro de agua potable con distintos niveles de complejidad, que incluyen a países como Honduras, Jamaica, Guyana, Bolivia, Uruguay, Argentina, Peru-Ecuador (Binacional) y Brasil. Este último, es el más desarrollado en Sudamérica en términos de regulación de recursos hídricos, posee como unidad de referencia la cuenca hidrográfica y un consejo de cuencas. Además, cuenta con un enfoque integral y preventivo que exige que los Servicios de Suministro de Agua Potable sigan los principios de un PSA para asegurar el agua potable distribuida (Ordenanza N°2.914/2011 del Ministerio de Salud).

Chile en cambio, aún carece de una adecuada gobernanza del agua que permita incorporar como uso prioritario el agua para consumo humano; sin embargo, existen avances al respecto. En enero de 2015, la Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININT); presentó la Política Nacional para los Recursos Hídricos. Esta tiene como línea de acción la incorporación de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, la cuenca hidrográfica como unidad de ordenamiento territorial y finalmente asegurar la disponibilidad del recurso agua para el consumo humano y la producción de alimento.

En este último punto, para definir un sistema de abastecimiento de agua potable como eficiente y seguro, se debe garantizar que tendrá un correcto funcionamiento en todo momento y que en caso de producirse un incidente de contaminación u

operacional, será capaz de enfrentarlo sin afectar la calidad y la continuidad del agua que se le suministra al consumidor (Figura 1).



**Figura 1. Enfoque preventivo e integrado denominado Plan de Seguridad de Agua.**

(Adaptado de ESSBIO y Bartram *et al.*, 2009)

Nuestro país se ve constantemente amenazado por eventos naturales y antrópicos que podrían afectar a las distintas plantas de agua potable por lo que un enfoque reactivo frente a estas situaciones pone en riesgo la salud de la población a nivel nacional y local.

En nuestra región la planta de potabilización más importante corresponde a la planta “La Mochita” de ESSBIO S.A, abasteciendo una población de 506.000 habitantes por medio de una captación superficial en la parte final de la cuenca del río Biobío. La cuenca del río Biobío posee variados usuarios de agua como el sector industrial, forestal, agrícola-ganadero, acuícola, turismo, entre otros, cuyas actividades pueden poner en riesgo la seguridad del agua que llega a la captación de la planta “La Mochita” por lo cual es necesario adoptar un enfoque basado en la prevención; como el PSA y así minimizar el riesgo a la salud de la población.

Para saber si es posible incorporar esta metodología, es necesario saber si el nivel de información disponible permite evaluar el sistema desde la cuenca de captación, e identificar los peligros antrópicos que pueden afectar la seguridad del agua en la planta “La Mochita”.

Es importante señalar que por el nivel de complejidad y tiempo necesario para la identificación de los peligros y eventos peligrosos del sistema complejo (cuenca hasta el consumidor), solo se efectuará la identificación a nivel de cuenca.

## **2. OBJETIVOS**

### **a. Objetivo General.**

Evaluar la información disponible asociada a la cuenca del río Biobío para identificar los peligros antrópicos que afectan a la planta La Mochita, en el contexto PSA.

### **b. Objetivos Específicos.**

- Análisis de las atribuciones de la institucionalidad asociada a la gestión del agua en el contexto de PSA.
- Sintetizar la información disponible de la cuenca de captación de la Planta La Mochita en el contexto de PSA.
- Identificar los peligros antrópicos existentes en la cuenca según la información disponible.
- Determinar las brechas de información para la implementación de un PSA en la cuenca del Biobío.

## **3. ANTECEDENTES**

### **3.1 Directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS).**

La Organización Mundial de la Salud, se fundó en Ginebra, Suiza el 7 de abril de 1948 con el objetivo de afrontar conjuntamente los problemas sanitarios mundiales y mejorar el bienestar de las personas. Su misión es elaborar directrices y normas sanitarias que ayuden a los países a abordar los problemas de salud pública, además de apoyar y promover investigaciones sanitarias (OMS, 2006).

En 1958 la OMS publicó la primera edición de los Estándares Internacionales para el Agua Potable, en donde se establecen los patrones mínimos de calidad

bacteriológica, físico-química del agua para abastecimiento humano y uso doméstico (Pinto, 2008). Posteriormente en 1983 publicó la primera Guía para Calidad de Agua para consumo humano. La segunda edición fue presentada diez años más tarde y actualizada en 1996-1997, esta poseía un aumento significativo de los parámetros químicos a ser controlados en materia de calidad de agua. La finalidad de las Guías es apoyar el desarrollo y la ejecución de estrategias de gestión de riesgos que garanticen la inocuidad del abastecimiento de agua por medio del control de los componentes peligrosos del agua (OMS, 2006).

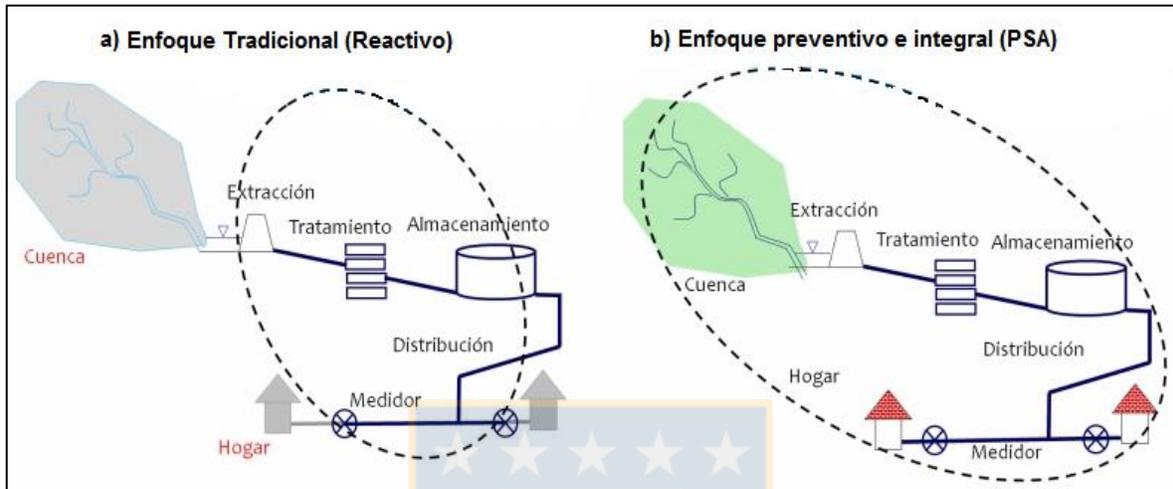
La tercera versión de la Guía para calidad de agua potable se presentó en 2004 y la cuarta versión en año 2011. Estas dos últimas sufrieron una completa actualización con relación a las ediciones anteriores, con el fin de incorporar nuevos conocimientos y promover la aplicación de un enfoque integral de carácter preventivo, de evaluación y gestión de riesgos en todo el sistema de suministro de agua potable. Este nuevo concepto se conoce como “Planes de Seguridad del Agua” (PSA) (Davidson *et al.*, 2005).

### **3.2 Plan de Seguridad de Agua (PSA).**

Comúnmente los proveedores de agua para consumo se limitan a la aplicación de normas que verifican el cumplimiento de los requisitos de calidad de agua potable suministrada. En un enfoque tradicional, basado en la normativa, solo se efectúan planes de emergencia una vez afectada la continuidad o calidad del agua potable; lo que puede provocar un problema a la salud de los consumidores (Figura 2 Letra a).

La OMS plantea que el cumplimiento normativo por sí solo no garantiza la seguridad del agua, sino que resulta necesario adoptar además medidas preventivas, que abarquen de modo integral todos los componentes del sistema, desde la cuenca de captación hasta la distribución al consumidor final (OMS, 2009). Este enfoque se denomina PSA y es la forma más eficaz de garantizar sistemáticamente la seguridad del agua (Figura 2 Letra b).

Los PSA permiten el diagnóstico del estado del sistema, el monitoreo de este frente a los riesgos que enfrenta de ser afectado por distintas causas y el diseño, adopción y aplicación de planes de gestión que conducen a un funcionamiento rutinario adecuado.



**Figura 2. Comparación de enfoques en términos de seguridad del agua.**

(OPS, 2015)

### 3.3 Objetivos PSA.

Se han definido tres objetivos principales de los Planes de Seguridad del Agua (Figura 3):

- Evitar o minimizar la vulnerabilidad y la contaminación del agua en las fuentes de abastecimiento;
- Reducir o eliminar la contaminación en el proceso de tratamiento, promoviendo la aplicación de buenas prácticas en la operación y mantenimiento de los sistemas de desinfección y en las plantas potabilizadoras;
- Prevenir la contaminación durante el almacenamiento, distribución y manejo del agua potable.



**Figura 3. Principales objetivos de un PSA.**

(Davison *et al.*, 2005)

Estos objetivos son aplicables tanto a los grandes sistemas de suministro de agua potable, pequeños sistemas comunitarios y a los sistemas domésticos, por medio de una adaptación de la metodología para el caso particular de cada sistema.

### 3.4 Enfoque de PSA.

Un PSA se basa en varios de los principios y conceptos de otros enfoques de gestión de riesgos, en especial en principios de barreras múltiples, buenas prácticas y el análisis de peligros y puntos críticos de control que se utiliza en la industria de los alimentos (APPCC o HACCP en inglés; ver Anexo 1) (Pérez Vidal *et al.*, 2009). A continuación, se resume cada enfoque:

**Barreras Múltiples:** Se constituye de etapas del sistema donde se establecen procedimientos para prevenir, reducir, eliminar o minimizar la contaminación. La ventaja de este sistema es que el fallo de una barrera puede compensarse mediante el funcionamiento eficaz de las barreras restantes, reduciendo así al mínimo la

probabilidad de que los contaminantes lleguen a atravesar el sistema completo y alcancen concentraciones suficientes para perjudicar a los consumidores.

**Buenas Prácticas:** Medidas de control que posibilitan la eficacia de cada una de las barreras, con el objetivo de prevenir riesgo. Son procedimientos adoptados en las fases de concepción, proyecto, construcción y, sobre todo, en la operación y mantenimiento de un sistema, con el fin de minimizar los riesgos a la salud humana.

**Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control:** Este enfoque promueve la gestión proactiva de los riesgos a través de la identificación de los puntos críticos de control, donde pueden ser controlados y reducidos (Anexo 1). El primero en describir la aplicación de APPCC en suministros de agua potable fue Havelaar en 1994. Legislaciones internacionales como las de Australia, Canadá, Nueva Zelanda, Francia e Islandia lo han incorporado en su legislación para asegurar la calidad del agua potable de manera obligatoria para los servicios de potabilización de agua (Gunnarsdóttir y Gissurarson, 2008).

### 3.5 Componentes de un PSA.

Un PSA se ejecuta teniendo en cuenta los objetivos basados en salud (Anexo 2) y debe estar supervisado por la autoridad de vigilancia (OMS, 2004). El grado de complejidad de un PSA varía dependiendo del tamaño del sistema y la población establecida, pero siempre se identifican 3 componentes esenciales para garantizar la seguridad del agua de consumo (Figura 4).

- 1) **Evaluación del sistema:** Determina si la cadena de suministro de agua de consumo (desde la captación al consumidor final) en su conjunto puede proporcionar agua cuya calidad cumpla las metas de protección de la salud (Anexo 1).
- 2) **Monitoreo Operativo:** El monitoreo operativo evalúa, con una periodicidad adecuada, la eficacia de las medidas de control. Se denomina medida de control a cualquier medida o actividad que pueda usarse para evitar o eliminar un peligro o para reducirlo hasta un nivel aceptable, de manera de

permitir una eficaz gestión del sistema y así garantizar que se alcanzan las metas de protección de la salud.

Los parámetros seleccionados para el monitoreo operativo deben reflejar la eficacia de cada medida de control, proporcionar una indicación oportuna del funcionamiento, ser fácilmente mensurables y permitir que pueda adoptarse una respuesta adecuada. Son ejemplos de tales parámetros el pH y la turbidez, entre otros.

- 3) **Planes de gestión:** Describen las medidas que deben adoptarse durante el funcionamiento normal y en incidentes. Documenta la evaluación del sistema (incluyendo actualización y mejoramiento), así como los planes de supervisión. Estos planes deben incluir una orientación clara sobre cuando emitir advertencia a los consumidores y como estas advertencias deben ser comunicadas (OMS, 2004; Byleveld *et al.*, 2008)



**Figura 4. Interrelación de componentes para el aseguramiento del agua potable.**

(OMS, 2004)

Dentro de las regulaciones propias de cada país, no es necesario hacer referencia específica a los PSA por su nombre, pero si se debe promover de forma explícita una metodología o evaluación integrada de riesgos basada en los principios de un PSA (Bartram *et al.*, 2009).

### 3.6 Metodología de elaboración de PSA.

El año 2009, la OMS publicó el manual para el desarrollo de Planes de Seguridad del Agua, en donde se presenta la metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo (Bartram *et al.*, 2009). Esta metodología de elaboración de PSA se compone de un esquema de cinco fases que interaccionan en un proceso de mejora continua (Figura 5) a través de once módulos o etapas, que se describen a continuación:

#### 1. Preparación

**Módulo 1:** Reunir a un equipo multidisciplinario y adoptar una metodología para el desarrollo de un Plan de Seguridad de Agua. La condición más importante que deben cumplir sus participantes es conocer y comprender el sistema de suministro de agua potable en alguna de las etapas; desde la cuenca de captación hasta la distribución al consumidor; ya que serán responsables de determinar qué peligros pueden afectar a la calidad y seguridad del agua a lo largo de la cadena de suministro (Bartram *et al.*, 2009). El tamaño y funciones de cada integrante de un equipo PSA dependerá de la realidad de cada sistema de suministro de agua potable.

#### 2. Evaluación del Sistema

**Módulo 2:** Describir el sistema de la manera más detallada posible; considerando todos los componentes del sistema de suministro de agua potable: Cuenca de Captación (Agua Superficial o Subterránea según sea el caso), tratamiento, almacenamiento y distribución; recopilando información sobre la calidad de agua que se proporciona actualmente con un nivel de detalle suficiente que indique otros usos y usuarios del agua en la cuenca (Anexo 3). Otro de los objetivos de esta

etapa, es la creación de un diagrama de flujo, que se define como una representación sistemática de la secuencia de etapas u operaciones de la producción o elaboración de agua potable. Este diagrama ayudará a determinar el modo en que los riesgos pueden afectar a los consumidores y el punto en el que se controlan o podrían controlarse. (Bartram *et al.*, 2009).

**Módulo 3:** Determinación de los peligros, eventos peligrosos y la evaluación de los riesgos. El equipo PSA realiza una descripción de eventos peligrosos y peligros que podrían producirse a lo largo de la cadena de suministro y que puedan contaminar el agua, comprometer su seguridad o interrumpir el suministro; logrando finalmente una matriz de evaluación de riesgos pormenorizada para el sistema completo de suministro de agua potable.

Para la realización de este paso, se deben conocer los siguientes términos claves, definidos por la OMS (Bartram *et al.*, 2009):

Peligro: Agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud pública.

Evento Peligroso: Eventos que introducen peligros o impiden su eliminación en el sistema de abastecimiento de agua.

Riesgo: Es la probabilidad de que los peligros identificados ocasionen daños a las poblaciones expuestas en un plazo temporal especificado, incluida la magnitud del daño o de sus consecuencias

**Módulo 4:** Determinación y validación de medidas de control; validando la eficacia de estas por medio de una nueva evaluación de riesgos. Es necesaria además la determinación y clasificación de los riesgos insuficientemente controlados.

**Módulo 5:** Elaboración, ejecución y mantenimiento de un plan de mejora o modernización para cada uno de los riesgos no controlados, clasificados en función de su prioridad.

### 3. Monitoreo Operativo

**Módulo 6:** Definición del monitoreo de las medidas de control. Es necesario en este caso evaluar la eficacia de las medidas de control con la frecuencia pertinente.

**Módulo 7:** Verificación de la eficacia del PSA. En esta etapa se debe demostrar que el diseño y la operación del sistema son capaces de suministrar sistemáticamente agua en cantidad y calidad suficientes para cumplir las metas de protección de la salud. En caso contrario debe revisarse y aplicarse un plan de mejora.

### 4. Gestión y Comunicación

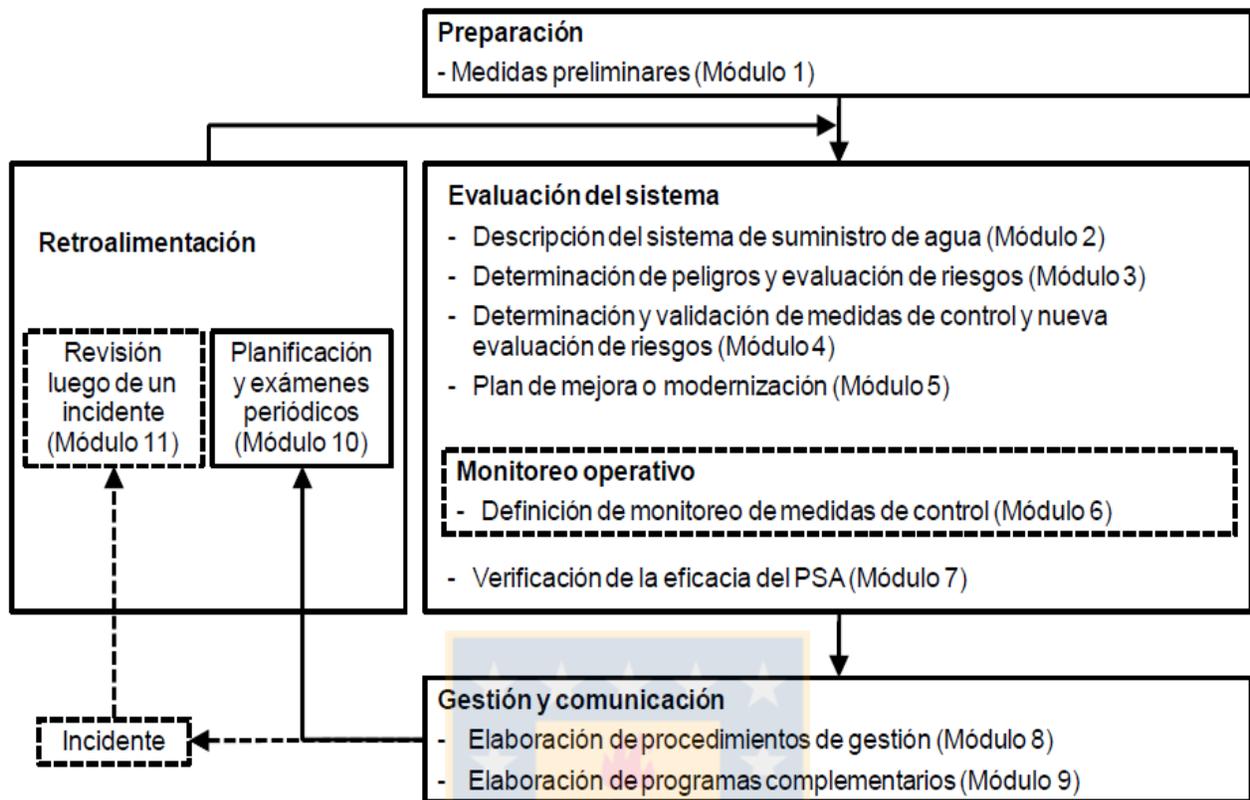
**Módulo 8:** Elaboración de procedimientos de gestión. Un PSA debe incorporar, como componente integral, procedimientos de gestión claros que documenten las medidas que deben tomarse cuando el sistema funciona en condiciones normales y cuando se ha producido un incidente.

**Módulo 9:** Elaboración de programas complementarios. Esto incluye programas y actividades que garantizan la integración de la metodología de PSA en las operaciones del servicio de suministro de agua.

### 5. Retroalimentación

**Módulo 10:** Planificación y exámenes periódicos, donde quede demostrado que la seguridad del sistema se mantiene en forma permanente y que el PSA continúa siendo adecuado para las necesidades del servicio de suministro de agua potable y las entidades involucradas.

**Módulo 11:** Revisión del PSA tras un incidente. Incorporar las enseñanzas adquiridas a los procedimientos y documentación del PSA.



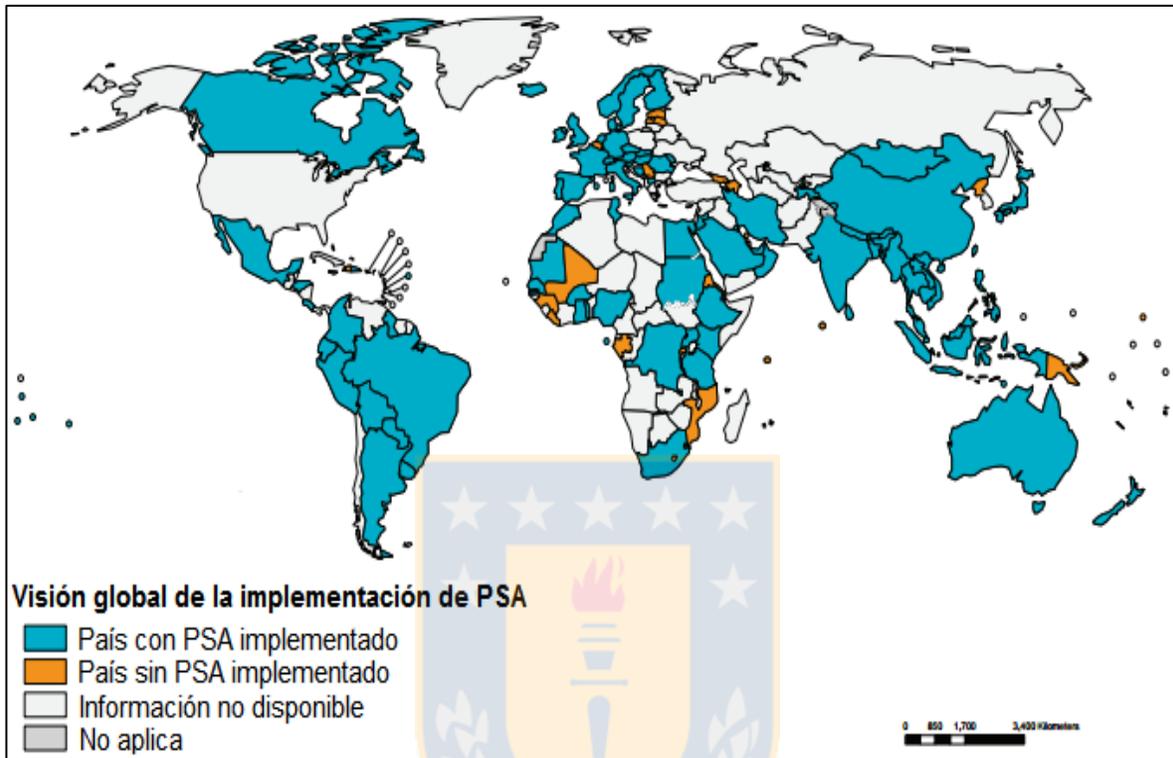
**Figura 5. Interacción de los once módulos de la metodología OMS “Manual para la elaboración de planes de seguridad del agua”**

(Bartram *et al.*, 2009)

### 3.7 Experiencia Mundial PSA.

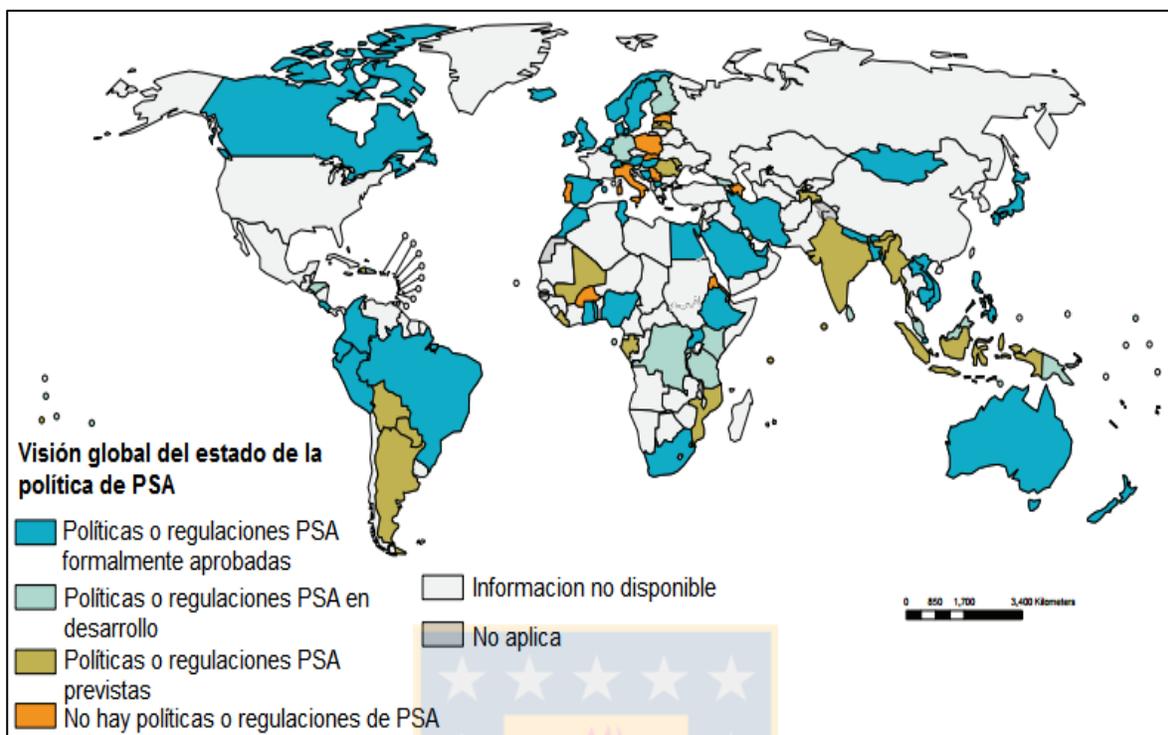
Los Planes de Seguridad del Agua se han implementado en 93 países a nivel mundial y se encuentran presentes en los 5 continentes (WHO, 2017). Algunos países se encuentran en fase temprana, realizando PSA pilotos, como es el caso de Marruecos; mientras que otros como Islandia cuenta con más de 20 años de experiencias (Figura 6). En esta figura se observa además que en América del Sur casi la totalidad posee implementación de PSA donde destacan Brasil, Argentina, Perú-Ecuador, entre otros.

Los datos de la OMS indican que 46 países, que se presentan en la Figura 7, que cuentan con instrumentos normativos o reglamentarios que promueven o exigen PSA. Entre los cuales destacan Islandia, Brasil, Reino Unido, Australia, Canadá.



**Figura 6. Estado global de implementación de PSA.**

(WHO, 2017)



**Figura 7. Estado global de implementación de políticas y regulaciones que promueven o exigen PSA.**

(WHO, 2017)

La experiencia mundial de programas de implementación de PSA, junto a la literatura asociada, nos entregan ejemplos de las principales barreras de implementación, además de los beneficios identificados luego de su puesta en marcha. A continuación, se presenta la información más relevante:

### **3.8 Implementación de Planes de Seguridad del Agua.**

#### **3.8.1 Barreras en la implementación en un PSA.**

La literatura ha descrito una serie de barreras en la implementación y el desarrollo de un PSA, entre las cuales destacan:

- **Escasez de datos:** Muchos sistemas de países en vías de desarrollo poseen una baja o inexistente cultura de recopilación y almacenamiento ya sea de

protocolos, procedimientos, lo que dificulta la comprensión del sistema en condiciones normales o en incidentes (Godfrey *et al.*, 2005; Mahmud *et al.*, 2007).

- **Disponibilidad de recursos económicos y humanos:** En algunos sistemas puede resultar difícil disponer de recursos para invertir en personal calificado, capacitaciones sobre la metodología de PSA o reparaciones en el sistema. Sin embargo, la metodología de PSA es más bien una herramienta para reducir los costos asociados como resultado de mejores prácticas operativas y mejor eficiencia de gestión (Gregor y Winstanley, 2006; Dyck *et al.*, 2007).
- **Brechas de información:** El desconocimiento en cuanto a usuarios y usos del agua impide una correcta evaluación del sistema en cuanto a calidad y cantidad de agua disponible en la cuenca (Bartram *et al.*, 2009).
- **Normativas de calidad de agua:** En algunas ocasiones los proveedores de agua potable pueden encontrarse poco atraídos en adoptar la metodología de PSA, ya que la normativa no se los exige y en el caso de desarrollar un PSA, no reciben incentivos extra por realizar este trabajo de manera proactiva (Schmoll *et al.*, 2011; Mayr *et al.*, 2012).

### 3.8.2 Beneficios tras la implementación de un PSA.

Existen distintos estudios en la literatura que evidencian y documentan los beneficios tangibles luego de implementar un PSA en sistemas de abastecimiento de agua potable. (Tabla 1).

**Tabla 1. Bibliografía de beneficios tangibles a corto plazo luego de implementar PSA.**

(Kot, 2014)

<b>Beneficios Tangibles a corto Plazo luego de implementar PSA</b>	<b>Bibliografía documentada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en la estructura organizativa, procedimientos diarios dentro del suministro de agua y mejor conocimiento de los riesgos entre los operadores de agua.</li> </ul>	(Mullenger <i>et al.</i> , 1999); (Gelting <i>et al.</i> , 2012) (Gunnarsdóttir <i>et al.</i> , 2012b)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prácticas más eficientes de gestión de agua.</li> </ul>	(Medema <i>et al.</i> , 2001); (Davison and Deere, 2007)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejor cumplimiento de las regulaciones de agua.</li> </ul>	(Baum <i>et al.</i> , 2015) (Gunnarsdóttir and Gissurarson, 2008); (Gunnarsdottir <i>et al.</i> , 2012a) (Schmoll <i>et al.</i> , 2011)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de quejas de clientes.</li> </ul>	(Mullenger <i>et al.</i> , 1999); (Parker and Summerill, 2013)

Varios estudios demuestran que también los sistemas que cuentan con regulaciones de agua potable pueden beneficiarse con la implementación de PSA. En Estados Unidos, por ejemplo, se estudió de forma comparativa la normativa nacional de agua potable y los PSA, con el objetivo de identificar si existían beneficios en su implementación (Baum *et al.*, 2015). La regulación de agua potable en EEUU se centra en el establecimiento de normas nacionales para los niveles máximos permisibles de contaminantes y en mejores tecnologías disponibles para la reducción de contaminantes normados. Al intentar aplicar controles uniformes, corren el riesgo de un monitoreo innecesario de contaminantes, mientras pasan por alto parámetros no incluidos en las directrices de calidad de agua potable (Summerill *et al.*, 2010). El monitoreo de la calidad del agua ya tratada no importa cuán riguroso sea, siempre será un enfoque inherentemente reactivo. Los PSA, en cambio, tienen un enfoque adicional de prevenir la contaminación, lo que resulta un beneficio para evitar la distribución de agua contaminada. Finalmente, Baum concluyó que la

implementación de PSA puede beneficiar a los servicios de suministro de agua potable por ser instrumentos dinámicos, apoyando las actuales regulaciones que son instrumentos estáticos.

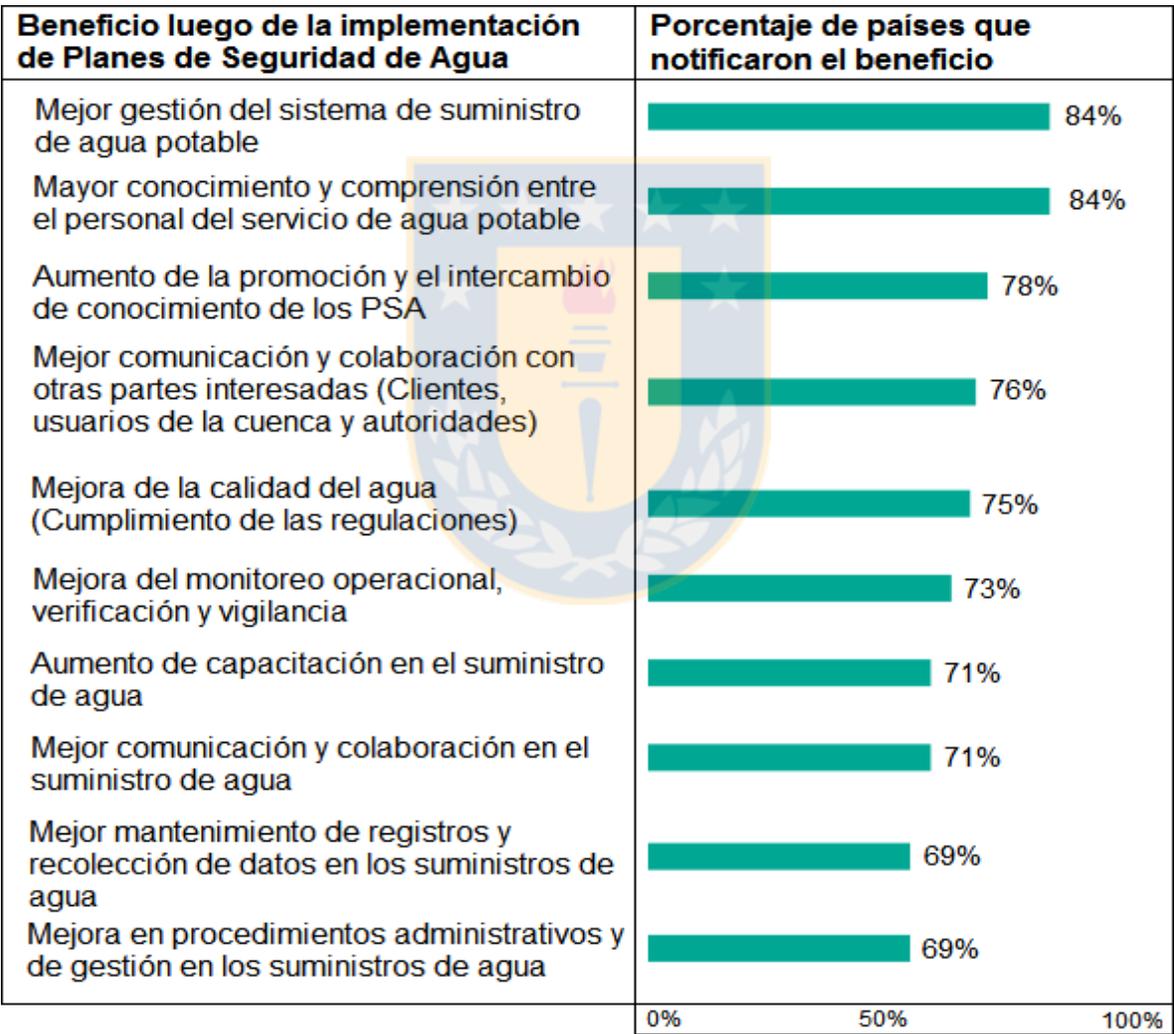
Otra publicación que destaca de la Tabla 1, es el estudio realizado en Islandia (Gunnarsdóttir *et al.*, 2012a). Este país fue pionero en la implementación de PSA. En 1995 comenzó a regir la legislación que clasifica a los servicios de agua potable como empresas procesadoras de alimentos. Este cambio significó que sin excepción deben aplicar un enfoque sistemático preventivo para garantizar la seguridad del agua; por medio de la aplicación de APCC, exigidos en la regulación nacional.

El nivel de implementación de PSA en Islandia alcanzaba un 80% de la población total (320.000 habitantes aproximadamente) el año 2008. El estudio de Gunnarsdóttir consideró áreas de captación sin PSA, las que definió como áreas de riesgo expuesto (no intervenidos) y las zonas de captación con PSA, como áreas no expuestas a riesgo (intervenidos).

Los resultados indicaron que la población del área intervenida por PSA es un 14% menos propensa a desarrollar casos clínicos de diarrea respecto a la población donde no se han implementado PSA. La conclusión general del estudio fue que un PSA es un instrumento importante en la reducción de la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua, una mejora en el cumplimiento de regulaciones de calidad del agua potable y por lo tanto una mejora a la salud pública de Islandia.

La OMS publicó el 2017 un catastro de beneficios tras la implementación de PSA. Este catastro fue realizado con la ayuda y respuesta de 51 países, información con la cual se identificaron los 10 beneficios más reportados (Figura 8).

La OMS indica que los beneficios de desarrollar e implementar un PSA para un suministro de agua potable incluyen: sistematización, evaluación detallada y priorización de los peligros; además de un monitoreo operacional a través de múltiples barreras o medidas de control. Además, minimiza fallas por descuido o errores de administración; provee planes de contingencia para responder a inconvenientes en el sistema y garantiza una mayor seguridad y fiabilidad para los consumidores, disminuyendo las posibles quejas de los mismos (Rodriguez *et al.*, 2012).



**Figura 8. Beneficios reportados por un total de 51 países que poseen resultados tras implementar PSA.**

(WHO, 2017)

### **3.9 Contexto Nacional: Gestión Sanitaria en Chile.**

Para comprender los avances y desafíos futuros en términos de PSA, es importante primero contextualizar la situación actual de los servicios sanitarios y la gestión aplicada al rubro.

#### **3.9.1 Servicios sanitarios en Chile.**

En Chile, 60 entidades proporcionan los servicios de suministro de agua potable y saneamiento, de las cuales 52 se encuentran efectivamente en operación, atendiendo áreas de concesión exclusivas en las 15 regiones del país y abarcando un universo de más de 16 millones de habitantes en 368 localidades. El 95,8% de los clientes del sector es atendido por empresas operadoras de propiedad privada, mientras que un 4,2% corresponde a usuarios de concesionarias del Estado, de municipalidades o cooperativas (SISS, 2016).

Estas empresas poseen concesiones otorgadas entre las cuales se distinguen cuatro categorías: Concesión de producción de agua potable, distribución de agua potable, recolección de aguas servidas y disposición de aguas servidas. De acuerdo con el marco regulatorio vigente las concesionarias de servicios sanitarios deben operar según el régimen de concesiones que la ley establece, bajo la forma de sociedad anónima, sometándose a la regulación y fiscalización de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2017).

Durante el año 2015, el consumo total de agua potable en los centros urbanos del país fue de 1.128 millones de metros cúbicos, superior en un 1,57% respecto a la cifra del año anterior. A nivel nacional, la capacidad máxima de producción de agua potable es de 91.029 litros por segundo, de los cuales 47.156 l/s corresponden a capacidad de producción de agua subterránea (51,8%) y 43.873 l/s a capacidad de producción de agua superficial (48,2 %) (SISS, 2016b).

### 3.9.2 Marco Normativo del sector sanitario en Chile.

La normativa vigente aplicable a los prestadores de servicios sanitarios incluye los requerimientos básicos de prestación, como criterios de seguridad en fuentes de captación, plantas de producción, sistemas de distribución y los requisitos de calidad del producto (agua potable).

A continuación, se presenta un resumen de los principales decretos y normas aplicables al sector, juntos con algunos artículos que se relacionan con conceptos aplicados en un PSA:

- **Decreto N°131/2006:** modifica el decreto N°735/1969 del MINSAL, Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano, el cual plantea que todo servicio de agua potable deberá proporcionar agua de buena calidad en cantidad suficiente para abastecer satisfactoriamente a la población que le corresponde atender, debiendo, además, asegurar la continuidad del suministro contra interrupciones ocasionadas por fallas de sus instalaciones o de su explotación.

Artículo 1º.- Todo servicio de agua potable deberá proporcionar agua de buena calidad en cantidad suficiente para abastecer satisfactoriamente a la población que le corresponde atender, debiendo, además, asegurar la continuidad del suministro contra interrupciones ocasionadas por fallas de sus instalaciones o de su explotación.

Artículo 19º.- Se considerará como cantidad de agua suficiente que debe abastecer un servicio de agua potable, la que resulte de multiplicar la población a servir por la dotación media estimada como necesaria, la cual será determinada para cada caso por la autoridad sanitaria, quien considerará, además, un 50% para prevenir las exigencias de los días de consumo máximo.

Entenderemos agua potable como el agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radioactivos, organolépticos y de desinfección descritos en el Decreto N° 735/1969 y sus modificaciones “Reglamento

de los servicios de agua destinada al consumo humano” que aseguran su inocuidad y aptitud para el consumo humano.

- **Decreto con Fuerza de Ley MOP N° 382/1988:** Ley General de Servicios Sanitarios (actualizado a diciembre de 2008) Donde están comprendidas:
  - I. Las disposiciones relativas al régimen de explotación de servicios públicos destinados a producir y distribuir agua potable y a recolectar y disponer aguas servidas, servicios denominados en adelante, servicios sanitarios.
  - II. Las disposiciones relativas al régimen de concesión para establecer, construir y explotar servicios sanitarios.
  - III. La fiscalización del cumplimiento de las normas relativas a la prestación de los servicios sanitarios.
  - IV. Las relaciones entre las concesionarias de servicios sanitarios y de éstas con el Estado y los usuarios.

Artículo 35.- El prestador deberá garantizar la continuidad y la calidad de los servicios, las que sólo podrán ser afectadas por causa de fuerza mayor. Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, podrá afectarse la continuidad del servicio, mediante interrupciones, restricciones y racionamientos, programados e imprescindibles para la prestación de éste, los que deberán ser comunicados previamente a los usuarios.

- **Decreto N°1199/2004 MOP:** Reglamento de la Ley General de Servicios Sanitarios. El cual aprueba el reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios.

Artículo 96°.- Las condiciones mínimas de calidad del agua potable serán las establecidas en la norma chilena NCh 409 "Agua Potable - Parte 1: Requisitos y Parte 2: Muestreo". Ningún prestador podrá, por tanto, entregar

o suministrar agua a sus usuarios en condiciones distintas a las señaladas en dichas normativas, salvo autorización de la autoridad de salud.

Artículo 97º.- En conformidad con la respectiva normativa vigente, el prestador del servicio de distribución de agua potable y, en su caso, el concesionario de producción debe garantizar la continuidad del servicio, la que sólo podrá verse afectada por razones de fuerza mayor calificadas por la Superintendencia o debido a interrupciones, restricciones y racionamientos programados e imprescindibles para la prestación del servicio, los que deberán ser comunicados al usuario, con a lo menos, 24 hrs. de anticipación.

- **Norma Chilena NCh 409/1:** Esta norma se encuentra especificada dentro del reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano. Establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional. Se aplica al agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento.
  - Define requisitos.
  - Exige concentraciones menores al máximo para contaminantes químicos.
  - Exige contenido mínimo para desinfectante activo residual.
  - Exige ausencia de contaminación por bacterias fecales.
  
- **Norma Chilena NCh 409/2:** Esta norma establece los procedimientos de inspección y muestreo para verificar los requisitos microbiológicos, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección del agua potable, que se especifican en NCH 409/1. Se aplica al agua abastecida por cualquier servicio de agua potable excluyendo los servicios de Agua Potable rural.
  - Define muestreo.
  - Establece procedimientos, forma y lugar de muestreo.
  - Divide la red en sectores.

- Exige frecuencia mínima de control para cada requisito.
- Exige re - muestreo en caso de incumplimiento de algún requisito.

Las fuentes de abastecimiento de agua potable utilizadas por cada empresa sanitaria dependen de la disponibilidad del recurso en la zona respectiva, de la calidad del agua cruda disponible y de la factibilidad técnica y económica de su explotación.

- **NCh 777/1.Of.2008:** Establece las especificaciones generales aplicables a la captación de aguas superficiales para agua potable. Esta norma contiene los requisitos para las fuentes de abastecimiento y para el diseño, construcción, protección y uso de obras de captación de aguas superficiales. También establece la terminología empleada en el ámbito de las aguas superficiales (INN, 2000).
- **NCh 777/2.Of.2000:** Establece las especificaciones generales aplicables a la captación de aguas subterráneas para agua potable. Esta norma tiene los requisitos para el diseño, construcción, protección y uso de obras de captación de aguas subterráneas. Además, establece la terminología empleada en el ámbito de aguas subterráneas (INN, 2000)..
- **NCh 691.Of.1998:** Esta norma establece los requisitos generales mínimos que deben cumplir los sistemas de producción y distribución de agua potable, en lo que corresponde al diseño de las obras de conducción, regulación, almacenamiento y distribución, desde la fuente de abastecimiento de agua hasta los puntos de entrega; excluyendo las instalaciones domiciliarias y los servicios de agua potable rural.

Como podemos observar, existe un amplio marco normativo en cuanto a gestión sanitaria en Chile, pero el enfoque legislativo no incorpora la prevención ante eventos que puedan generar problemas en la cantidad y continuidad del agua potable.

### **3.9.3 Situación Planes de Seguridad del Agua en Chile.**

En Chile no hay experiencias en PSA, pero existen diversos avances y acercamientos en el tema. El año 2014, se realizó un taller donde participaron la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), el Ministerio de Salud (MINSAL) y la Asociación Interamericana de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental. El objetivo fue difundir a nivel de los organismos técnicos, administrativos y empresariales relacionados con la provisión de agua potable en el país, la metodología del PSA y analizar los potenciales beneficios derivados de su futura aplicación (SISS, 2015; MINSAL, 2015; PAHO, 2015). Esto por la necesidad de contar con un enfoque que considere la prevención de riesgos desde la cuenca de captación, debido a los constantes eventos naturales o antrópicos que afectan la seguridad del agua potable en nuestro país. Actualmente estas situaciones se manejan de manera reactiva, una vez afectado el suministro de agua potable.

Dentro de la realidad local, en nuestra región, la planta “La Mochita” de la empresa ESSBIO S.A, es la de mayor envergadura a nivel regional, abasteciendo a una población de aproximadamente 506.000 habitantes en las comunas de Concepción, Talcahuano y Hualpén, por medio de una captación superficial que utiliza aguas de la parte final del río Biobío. El nivel de población abastecida y los diversos usos de la cuenca aguas arriba de la captación hacen interesante la evaluación del sistema en el contexto de un Plan de Seguridad del Agua.

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Descripción Área de Estudio.**

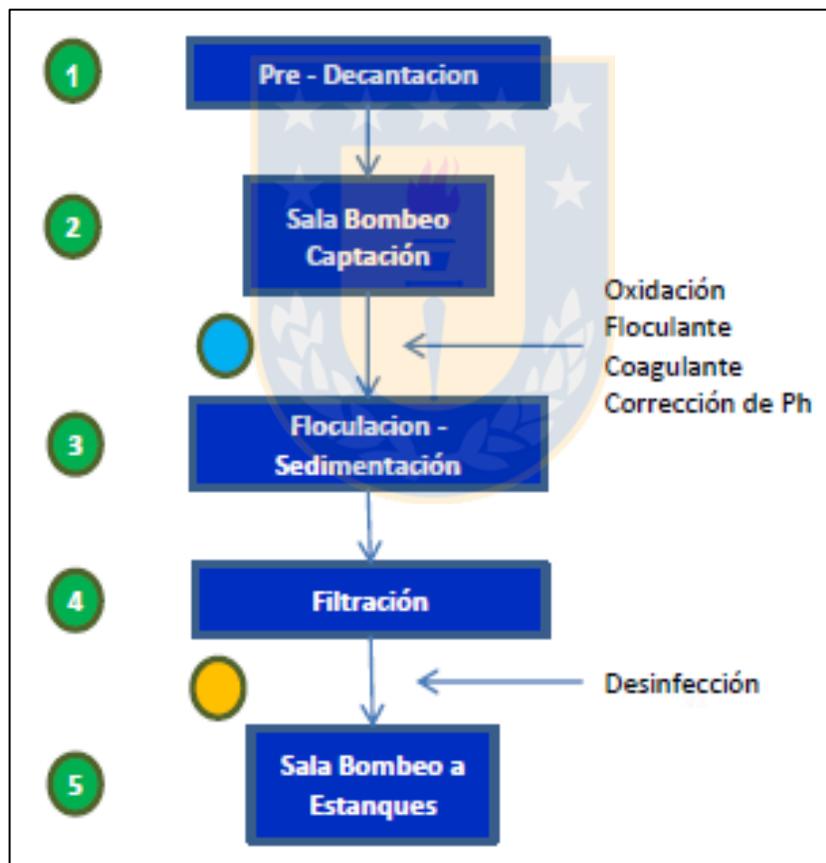
El primer paso fue la elección del área de estudio, la cual se subdivide en dos, la Planta La Mochita y la Cuenca del río Biobío. Esto debido a que los PSA están dirigidos a proveedores de agua de consumo (Planta de suministro de agua potable), por medio de la evaluación profunda del sistema, considerando la situación aguas arriba de la obra de captación (Cuenca), que permita una correcta identificación de los peligros antrópicos que pueden afectar la calidad y continuidad

del servicio en la planta “La Mochita”. A continuación, se describen ambas áreas de estudio.

– **Planta La Mochita**

La Planta La Mochita pertenece a la empresa ESSBIO S.A y está ubicada en la ciudad de Concepción, esta planta suministra agua potable a gran parte de las ciudades de Concepción, Hualpén y Talcahuano.

Mediante un canal de derivación y una bocatoma capta aguas superficialmente desde la cuenca del río Biobío. Es una planta convencional con floculación y filtración (Figura 9), de capacidad productiva  $3\text{m}^3/\text{s}$  y una demanda actual de  $1.8\text{m}^3/\text{s}$  (ESSBIO, 2014).



**Figura 9. Resumen proceso de potabilización del agua en la Planta “La Mochita”.**

(ESSBIO, 2014)

La principal ventaja de evaluar un suministro como La Mochita, además de la cercanía a la planta, es la gran población que abastece, siendo la mayor planta de potabilización de la cuenca del río Biobío. Otra de las características importantes que posee esta planta, es que al encontrarse en el tramo final de una cuenca de diversos usos (riego, industrial, hidroeléctrico, entre otros), se pueden identificar los peligros que aguas arriba pueden afectar la seguridad del agua en la Planta “La Mochita”.

#### – **Cuenca del río Biobío**

La cuenca hidrográfica del río Biobío se extiende sobre un área de 24.369 km<sup>2</sup> (DGA, 2004), un 72% de la superficie se encuentra en la región del Biobío y el 28% restante en la región de la Araucanía. Su cauce principal es el río Biobío, el cual nace en los lagos Galletué e Icalma, recorriendo un curso de 380 km con una dirección SE-NO y desemboca en el mar, al norte del Golfo de Arauco. Posee 15 subcuencas menores, las principales corresponden a las de Alto Biobío y los ríos Duqueco, Bureo, Vergara y Laja (Valdovinos y Parra, 2006).

A nivel país, la cuenca del río Biobío es la tercera más grande, después de los ríos Loa y Baker (Valdovinos y Parra, 2006). Las condiciones hidrológicas del río Biobío están reguladas por un régimen mixto; nival en la zona alta de la cuenca, proveniente de los deshielos primaverales y principalmente pluviales en la zona media y baja debido a las precipitaciones invernales.

En el área se reconoce el dominio mediterráneo, distinguiéndose en él la existencia de la influencia oceánica a través del valle del Biobío (Devynck, 1970; Romero, 1985). Está influenciada por el clima templado del sur de Chile, así como por el clima mediterráneo de Chile Central (Stehr *et al.*, 2010).

En la Cordillera de los Andes, sobre los 1.500 msnm se desarrolla un clima frío de altura, con precipitaciones abundantes, por sobre los 2.000mm anuales y temperaturas bajas de unos 4°C los cuales permiten la presencia de nieves permanentes en la alta cordillera (DGA, 2004).

En lo alto de la cuenca, las temperaturas fluctúan entre los 6,9°C y 10°C y la precipitación se concentra en los meses de mayo y agosto. En el interior, el clima pasa a ser templado costero húmedo, alcanzando precipitaciones medias anuales de unos 1.300mm de norte a sur y temperaturas menos extremas.

Ya en los sectores costeros, altos y laderas occidental de la Cordillera de la Costa el clima es templado con una humedad constante, de precipitaciones anuales que alcanzan los 1.200 a 2.000mm de norte a sur (DGA, 2004).

A continuación, se presenta la metodología utilizada para cumplir con los objetivos específicos:

#### **4.2 Metodología asociada a objetivos específicos.**

##### **I. Objetivo específico 1: Análisis de las atribuciones de la institucionalidad asociada a la gestión del agua en el contexto de PSA.**

En el contexto PSA, la primera etapa es la formación de un equipo multidisciplinario que asuma la responsabilidad de dirigir un PSA, por lo cual, dependiendo de la institucionalidad de cada país, se decide el tamaño y las atribuciones que deben tener los participantes.

El primer paso, fue el estudio de experiencias internacionales, para tener directrices de cómo se constituyen los equipos de un PSA y las características a considerar posteriormente a nivel nacional.

Es importante señalar que en esta habilitación profesional no se definirá un equipo oficial, pero si se analizará la institucionalidad nacional, respecto a las atribuciones de distintos organismos en el marco de un PSA, identificando posibles actores claves en la formación de un equipo PSA.

Se realizó una búsqueda pormenorizada de instituciones públicas vinculadas a la gestión de recursos hídricos en Chile a través del Directorio de Transparencia Activa del Gobierno de Chile (<http://www.gobiernotransparentechile.gob.cl/>). Se examinaron los organigramas ministeriales, funciones y objetivos estratégicos de

cada organismo a nivel regional, considerando la relevancia de cada uno en cuanto a gestión de recursos hídricos.

La evaluación de actores claves contempló el nivel de conocimiento técnico para comprender el sistema de suministro de agua potable y la relevancia en sus atribuciones para cumplir con los objetivos que persigue un PSA:

- Minimizar la vulnerabilidad y la contaminación del agua en fuentes de abastecimiento.
- Reducir y prevenir la contaminación a través de los procesos de tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable hasta el lugar de consumo.
- Gestionar los riesgos en cada uno de los componentes del sistema de suministro de agua potable.

Finalmente se estudió la posibilidad y necesidad de incluir agentes privados con intereses en la cuenca del río Biobío.

## **II. Objetivo específico 2: Sintetizar la información disponible de la cuenca de captación de la Planta “La Mochita” en el contexto de PSA.**

En un contexto de Plan de Seguridad del agua es esencial contar con una descripción detallada del sistema de suministro de agua potable, comenzando por la cuenca de captación. Por este motivo, se realizó una búsqueda bibliográfica de entes públicos y privados (Anexo 4) en donde se obtuvo información cualitativa (usos, usuarios de la cuenca y características generales); y cuantitativa de la cuenca (monitoreo Dirección General de Aguas y Programa de Monitoreo del Biobío).

Con la información de monitoreo existente se generó un mapa con la Red Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas actualizada a diciembre de 2016, con el fin de visualizar la distribución de las estaciones en la cuenca. Luego de obtener

este mapa, se trabajó por separado con cada una de las bases de datos de monitoreo público y privado. El proceso se detalla a continuación.

#### **a) Monitoreo Público (Dirección General de Aguas)**

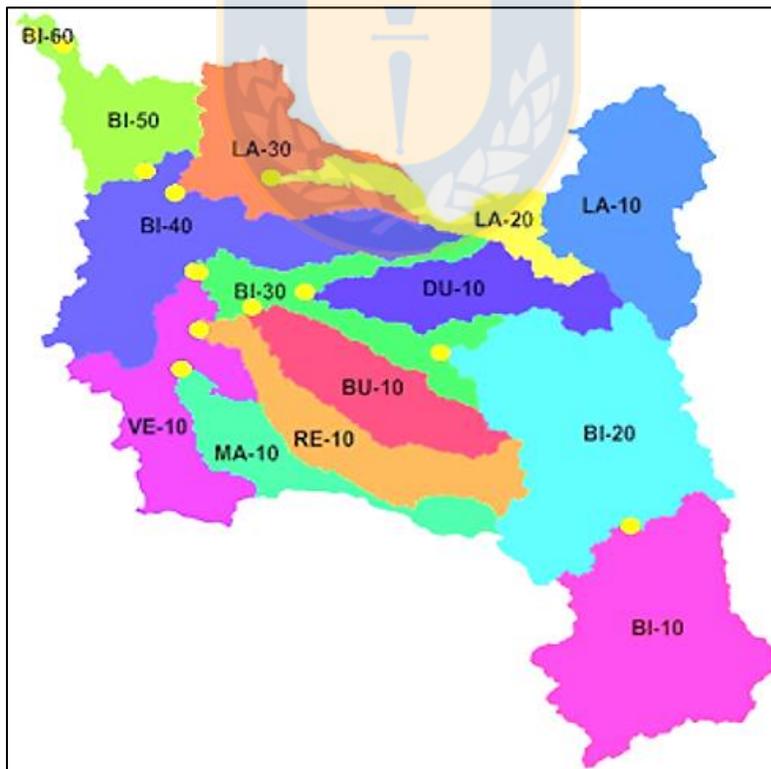
- **Estaciones Pluviométricas:** Se trabajó en base a los reportes de precipitaciones medias mensuales (mm), ordenando la información existente hasta el 31 diciembre de 2016. Se estudió la existencia de estaciones con una data mayor a 20 años (reportes de 12 meses por año; es decir de enero a diciembre).
- **Estaciones fluviométricas:** Se trabajó en base a los reportes de caudales medios mensuales ( $m^3/s$ ) ordenando la información existente hasta el 31 de diciembre de 2016, con lo cual se identificó la distribución espacial y temporal de las estaciones en la cuenca. Finalmente se analizaron los caudales de estaciones aguas arriba y aguas abajo de dos embalses del cauce principal (río Biobío), correspondientes a Ralco y Pangue, con el objetivo de estudiar variaciones fluviométricas de una estación a otra.
- **Estaciones de Calidad de Agua:** Se trabajó en base a los reportes de parámetros físico-químicos, mensuales existentes hasta el 31 de diciembre de 2016; y se analizó la distribución espacial y temporal de las estaciones.

Para identificar la relación entre los parámetros físico-químicos de calidad de agua muestreados en la cuenca, con los parámetros regulados en la legislación vigente, se compararon los registros físico-químicos con las siguientes normas:

- I.- **Norma Chilena 409/2005 Parte 1:** Establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional.
- II.- **Norma Chilena 1333/1978 (Modificada 1987):** Establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

**III.- Decreto Supremo 90:** Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos en aguas marinas y continentales superficiales.

**IV.- Norma Secundaria de Calidad de Aguas de la cuenca del río Biobío (NSCA cuenca río Biobío).** Establece normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Biobío (NSCA para la cuenca del río Biobío). Su objetivo es conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos, a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de aguas de la cuenca (D.S 9/2015 art.1). Para efectos del control de cumplimiento de este decreto, se establecieron para la cuenca del río Biobío 14 áreas de vigilancia (AV) de parámetros de calidad de aguas (Tabla 2). A continuación, se presenta la distribución geográfica de las AV de la NSCA de la cuenca del río Biobío (Figura 10).



**Figura 10. Áreas de Vigilancia (AV) NSCA del río Biobío**

(EULA, 2016)

**Tabla 2. Resumen Áreas de Vigilancia establecidas en la NSCA de la cuenca del río Biobío.**

(EULA, 2016)

<b>Cauce</b>	<b>Área Vigilancia</b>	<b>Límites Áreas de Vigilancia</b>	<b>% Superficie Total Cuenca</b>
Biobío	BI-10	Desde: Naciente río Biobío Hasta: Aguas arriba río Llanquén (Ralco)	13,77
	BI-20	Desde: Aguas arriba río Llanquén (Ralco) Hasta: Rucalhue	16,01
	BI-30	Desde: Rucalhue Hasta: Aguas arriba confluencia río Vergara	5,47
	BI-40	Desde: Aguas arriba confluencia río Vergara Hasta: Aguas arriba confluencia río Gomero	11,18
	BI-50	Desde: Aguas arriba confluencia río Gomero Hasta: Puente Mecano	4,60
	BI-60	Desde: Puente Mecano Hasta: Desembocadura boca Norte	0,52
Bureo	BU-10	Desde: Naciente Río Bureo Hasta: Aguas arriba confluencia río Biobío	5,74
Duqueco	DU-10	Desde: Naciente Río Duqueco Hasta: Duqueco 12 km aguas arriba confluencia río Biobío	5,46
Laja	LA-10	Desde: Naciente río Laja Hasta: Bajo descarga central Antuco	9,36
	LA-20	Desde: Bajo descarga central Antuco Hasta: Aguas arriba confluencia río Caliboro	3,25
	LA-30	Desde: Aguas arriba confluencia río Caliboro Hasta: Puente Laja (Aguas arriba confluencia río Biobío)	6,66
Malleco	MA-10	Desde: Naciente Río Malleco Hasta: Angol	4,55
Renaico	RE-10	Desde: Naciente río Renaico Hasta: Aguas arriba confluencia río Vergara	6,33
Vergara	VE-10	Desde: Naciente río Rehue Hasta: Aguas arriba confluencia río Biobío	7,10

## Programa de Monitoreo del Biobío (PMBB)

- b) En el ámbito privado, se utilizó el monitoreo realizado por el Centro EULA; desarrollado entre 1990 y 1993 por un programa de colaboración entre los gobiernos de Chile e Italia. Este programa fue presentado a varias empresas usuarias del río, que acogieron la iniciativa y comprometieron aportes financieros y técnicos para desarrollar el Programa de Monitoreo del Biobío (PMBB). El PMBB posee información de calidad de agua, desde 1994 a la actualidad.

De la base de datos existente se trabajó solo con los parámetros incluidos en la NSCA del río Biobío (Tabla 3), para el periodo histórico (1994-2016) y para la última década (2007-2016).

**Tabla 3. Clases de Calidad propuesta por el MMA para cada parámetro evaluado en la Cuenca del río Biobío.**

(EULA, 2016)

Parámetro	Unidad	clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	clase 5
		Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
Aluminio Total	mg/l	0,09	0,72	1,17	1,62	> 1,62
Amonio	mg N/l	0,02	0,03	0,06	0,09	> 0,09
AOX	mg/l	0,002	0,006	0,03	0,05	> 0,05
Cloruro	mg/l	2	7	54	100	> 100
Coliformes Fecales	NMP/100ml	5	50	1000	10.000	> 10.000
Conductividad	µS/cm	60	80	150	220	> 220
DBO5	mg/l	1	2	5	8	> 8
DQO	mg/l	3	10	15	20	> 20
Fenoles Totales	mg/l	0,002	0,004	0,007	0,01	> 0,01
Fósforo Total	mg/l	0,02	0,03	0,1	0,2	> 0,2
Hierro Total	mg/l	0,15	0,74	1,1	1,47	> 1,47
Nitrato	mg N/l	0,02	0,04	0,2	0,4	> 0,4
Nitrito	mg N/l	0,002	0,003	0,01	0,02	> 0,02
Nitrógeno Total	mg/l	0,1	0,2	0,6	1	> 1
Ortofosfato	mg P/l	0,01	0,02	0,11	0,2	> 0,2
Oxígeno Disuelto	mg/l	≥ 10	≥ 9	≥ 7	≥ 5	< 5
pH	-	6,5-8	6,5-8,5	6,3-8,7	6-9	< 6, > 9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2	15	35	55	> 55
Sulfato	mg/l	4	6	53	100	> 100

Con la base de datos ya acotada, se calculó por cada parámetro y estación 3 medidas estadísticas:

**Mediana:** Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

**Promedio:** Se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

**Percentil 66:** Medida de posición usada en estadística. Valor bajo el cual se encuentran el 66% de los datos una vez ordenados de menor a mayor.

Para conocer la calidad del agua captada por la planta La Mochita, se analizó la situación de la estación del PMBB más cercana a la captación (estación BB11), en donde cada medida estadística fue comparada con la categorización de clases de calidad elaborada por el MMA (Tabla 3), en el cual se identifican 5 clases respecto a la perturbación existente en el medio (Tabla 4).

**Tabla 4. Identificación de las Clases de Calidad de Agua propuesta por el MMA.**

(EULA, 2016)

Clase	Perturbación	Biota / Eutroficación	Parámetros químicos
1 Excelente	Escasa perturbación	Estado natural de la cuenca, asegura la preservación de las especies más sensibles, reproducción de peces sensibles	Alta saturación de oxígeno
2 Bueno	Moderadamente perturbado	Óptimas para la protección y conservación de ecosistema acuáticos, alta biodiversidad con una gran densidad	Siempre una buena concentración de oxígeno, escasa carga orgánica
3 Regular	Perturbado	Disminución de biodiversidad, tendencia al aumento del estado trófico (mayor abundancia de macrófitas, aumento de turbidez, etc.), gran diversidad de peces, pero no apta para peces sensibles	Oxígeno cambia mucho (algas y cargas orgánicas), pero suficiente para peces resistentes
4 Mala	Altamente perturbado	Condición crítica para el ecosistema acuático, daños en estructura y funciones del ecosistema acuático (mortalidad $\geq 50\%$ ecosistema acuático), muy pocas especies tolerantes con abundancia extrema, especies sensibles desaparecen, mortalidad masiva de peces, eutrofización	Concentraciones ambientalmente inaceptables
5 Muy mala	Muy fuertemente perturbada con grandes cargas de contaminantes	Intoxicaciones por tóxicos, aparición de cianobacterias tóxicas, peces desaparecen, pérdida de biodiversidad	Concentraciones ambientalmente inaceptables, muy poco oxígeno, aumento de toxicidad (industria, pesticidas, entre otros), alta turbidez

Se obtuvieron así, las clases de calidad de agua en la estación BB11 para el periodo histórico 1994-2016 y para la última década (2007-2016). Los parámetros que para ambos periodos de estudio presentaron clases de calidad regular, mala y muy mala respecto a la mediana, promedio y percentil 66; se analizaron a nivel de cuenca, para ver su comportamiento en los distintos puntos de muestreo, por medio de diagramas de caja. Un diagrama de caja es un tipo de gráfico que nos permite interpretar los datos para las variables, a través del cual podemos observar cuartiles, mediana, valores mínimos y máximos entre otros.

### **III. Objetivo específico 3: Identificar los peligros antrópicos existentes en la cuenca según la información disponible.**

Luego de la descripción de la cuenca de captación y de la síntesis de información existente y disponible, es necesario determinar todos los posibles eventos peligrosos y peligros que pueden afectar a la seguridad del agua.

El manual para el desarrollo de Planes de Seguridad del Agua (OMS, 2009), define un evento peligroso como un incidente o situación que puede conducir a la presencia de un peligro (lo que puede ocurrir y cómo); y un peligro es un agente biológico, químico, físico o radiológico con capacidad para ocasionar daños (Tabla 5).

**Tabla 5. Ejemplos Eventos peligrosos y peligros identificados en el manual para el desarrollo de PSA.**

(Bartram *et al.*, 2009)

<b>Evento peligroso (fuente de peligro)</b>	<b>Peligros asociados (y cuestiones que tener en cuenta)</b>
Agricultura	Contaminación microbiológica; plaguicidas; nitrato; abonado con estiércol líquido o sólido; desecho de cadáveres de animales
Industria	Contaminación química y microbiológica; posible pérdida de agua de la fuente debido a su contaminación.

En la identificación de los peligros antrópicos existentes en la cuenca del río Biobío se utilizó la información sintetizada en el objetivo N°3, utilizando como guía las tablas presentadas en el manual de la OMS (Tabla 5) y las diversas experiencias estudiadas en el marco teórico. Se utilizó toda la información disponible.

#### **IV. Objetivo específico 4: Determinar las brechas de información para la implementación de un PSA en la cuenca del Biobío.**

En cada fuente de peligro identificada, se estudió la existencia de brechas de información, haciendo énfasis especial en la descarga de efluentes en la cuenca del río Biobío, para lo cual se analizó el registro de emisiones y transferencias de contaminantes (RETC).

Se realizó una búsqueda de los parámetros que en el objetivo 2 se encontraron perturbados respecto a las clases de calidad de agua. Siendo solo posible encontrar información continua respecto a nutrientes (Fósforo Total y Nitrógeno de Kjeldahl); por lo tanto, se filtró la búsqueda considerando como división política y administrativa las comunas que pertenecen a la cuenca, teniendo en cuenta como medio receptor el agua. Con los datos disponibles, se seleccionaron las 3 comunas con mayor nivel de aporte de nutrientes a la cuenca. Finalmente, se analizó cada comuna respecto a las fuentes puntuales existentes, para así identificar las que generan un mayor aporte a nivel comunal.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Resultados para el Objetivo específico 1: Análisis de las atribuciones de la institucionalidad asociada a la gestión del agua en el contexto de PSA.

La primera etapa de un Plan de Seguridad de Agua es la Formación de un equipo multidisciplinario. En la bibliografía mundial disponible sobre elaboración de PSA, destacan diversas experiencias, en cuanto a la formación de equipos. En el Anexo 5 se presentan los equipos formados en Australia, Guyana Francesa y el PSA Binacional Perú-Ecuador.

En el caso de Melbourne (Australia), los PSA fueron realizados casi en su totalidad por los propios servicios de agua potable urbanos (Aguas Melbourne), sin ayuda significativa de organismos externos. Como se puede observar en el Anexo 5; el equipo se compone de profesionales del área de la ingeniería, química, microbiología y operadores. Esto debido al amplio conocimiento de los trabajadores en toda la cadena productiva.

En Guyana Francesa, el equipo está conformado por miembros principalmente de instituciones políticas y expertos técnicos de salud, medio ambiente y desarrollo regional; junto con representantes de gobiernos locales de Linden y miembros de Aguas Guyana Inc. Otro organismo presente en este equipo es La Agencia de Protección Ambiental (EPA), la cual coordina que la gestión y protección ambiental sean eficaces, junto al uso sostenible de los recursos naturales de Guyana. En el caso de ese PSA, la participación multidisciplinaria fue fundamental para generar apoyo en la realización de tareas administrativas o políticas, como el establecimiento de normas sobre calidad de agua y la dedicación de recursos financieros o de personal (Rinehold *et al.*, 2011)

Como último ejemplo tenemos el PSA Binacional de Perú-Ecuador. En este caso existen 3 equipos conformados para el mismo plan, en los cuales se identifica un equipo de Perú, otro de Ecuador, ambos equipos tienen una función local directamente relacionada al suministro de agua potable. El tercer equipo es el oficial

del PSA Binacional, este cuenta con autoridades de ambos países para comprender el sistema en su totalidad, con distintos enfoques (salud, medio ambiente, saneamiento, etc.).

Las experiencias internacionales mencionadas, nos indican la importancia de adecuar la formación del equipo a la realidad nacional. Esta decisión se toma en base a las características locales de cada sistema de suministro de agua potable; dependiendo si corresponde a un sistema rural o urbano y a la institucionalidad sobre recursos hídricos de cada país; así se definirán entonces los actores relevantes en la formación de un equipo de Plan de Seguridad de Agua.

Otro factor influyente en la identificación de actores claves para el equipo del PSA, es la institucionalidad de cada país. Para el caso nacional, el Banco Mundial publicó el año 2011, un estudio donde reconoce a nuestro Chile como el país con mayor diversidad de autoridades administrativas involucradas en la gestión del recurso hídrico (Banco Mundial, 2011), lo que puede generar dificultades para planificar coordinadamente su desarrollo (MOP, 2013)

Considerando lo anterior, se seleccionan actores públicos con atribuciones afín a un equipo PSA, los que se muestran en la Tabla 6. Posteriormente se presenta un análisis de cada institución, en el contexto PSA respecto a la cuenca de captación del río Biobío.

**Tabla 6. Instituciones públicas que considerar en un posible equipo de Plan de Seguridad del Agua en la cuenca del río Biobío.**

<b>Ministerio</b>	<b>Nombre de la Institución</b>	<b>Unidad u organismo interno</b>
Ministerio de Obras Públicas (MOP)	Oficina Regional SISS Biobío (Superintendencia de Servicios Sanitarios).	División de Fiscalización (Res. SISS N°791, 2007)
	Dirección Regional de Aguas, Biobío	División de Hidrología (DS N°12 MOP Art.1, 1992)
		Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos (DS N°12 MOP Art.1, 1992)
		Juntas de Vigilancia (Art.263, Código de Aguas).
Ministerio de Salud (MINSAL)	SEREMI Salud Región del Biobío	Departamento de Acción Sanitaria (RES EXENTA 1945)
		Departamento de Salud y Planificación Sanitaria (RES EXENTA 1945)
Ministerio de Medio Ambiente (MMA)	SEREMI Medio Ambiente Región del Biobío	División de Recursos Naturales y Biodiversidad: Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos (Res. Exenta N° 876 Art.5, 2015)
		División de Información y Economía Ambiental: Departamento de Información Ambiental (D.S. N°8 MMA, Art. 10° letra a, 2012)
Ministerio de Energía (MINE)	SEREMI Energía Región del Biobío	División de Desarrollo Sustentable (Res. Exenta N°19, 2014)
Ministerio de Agricultura (MINAGRI)	SEREMI Agricultura Región del Biobío	Comisión Nacional de Riego (CNR) (DFL 7 Art.3 Letra e, 1983)  División de Estudios Desarrollo y Políticas (Res. Exenta N°17, 2010)
Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININT)	Oficina Regional de Emergencias (ONEMI)	División de Protección Civil (DTO 509 Art.18, 1983)
	Gobierno Regional (GORE)	División de Planificación (Res. Exenta N° 1184, 2007)
		Consejo Regional (CORE) - Ley 19175, 1992
Ministerio de Economía, Fomento y Turismo	Corporación de Fomento de la Producción	Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (Decreto 160, 2012)

## **a. Ministerio de Obras Públicas**

### **a.1) Oficina Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) Región del Biobío.**

Los Planes de Seguridad de Agua se elaboran conociendo el funcionamiento completo del sistema de suministro de agua potable; los datos históricos y las prácticas de gestión de calidad del agua, con el fin de verificar la efectividad de los sistemas de control aplicados. En Chile el concepto de agua potable está definido como el agua que cumple con los requisitos físicos, químicos, bacteriológicos y radiactivos establecidos en la norma NCh 409/2005, la cual asegura que sea apta para el consumo humano y no ponga en riesgo la salud de la población. En este sentido, es importante contar en el equipo del PSA con personal de la división de Fiscalización (Resolución SISS N°791, 2007) de la Oficina Regional de la SISS, debido a su rol fiscalizador a las empresas sanitarias en el cumplimiento de las normas legales, reglamentarias y técnicas referidas a las condiciones en que deben otorgarse los servicios de agua potable, tratamiento de aguas servidas, alcantarillado entre otros.

### **a.2) Dirección General de Aguas (DGA) Región del Biobío.**

La Dirección General de Aguas (DGA), es un organismo dependiente del Ministerio de Obras Públicas, le corresponde todas las funciones y atribuciones que le confiere el Código de Aguas. En el estudio de los posibles peligros que impiden garantizar la seguridad del agua potable, es fundamental contar con personal de la DGA de la región del Biobío. En esta institución destacan la División de Hidrología (Decreto Supremo N°12 Art.1 MOP, 1992), que proporciona información generada por la red hidrométrica contenida en el catastro público de aguas; necesaria para la evaluación del estado histórico y actual de la cuenca, en términos de calidad y cantidad de agua; niveles de pozos y embalses; y la División de Conservación y Protección de los Recursos Hídricos, su importancia se ve reflejada en desarrollar políticas sobre conservación y protección de los recursos hídricos, coordinando las funciones que correspondan en estas materias a los distintos organismos y servicios públicos (Decreto Supremo N°12 Art.1 MOP, 1992).

Finalmente, es importante en un equipo de PSA, considerar a las Juntas de Vigilancia (JV), que son aquellas entidades que forman parte de la DGA, con personalidad jurídica y sin fines de lucro, cuyo objetivo fundamental es administrar las fuentes o cauces de aguas, sobre los cuales ejercen competencia o las obras a través de las cuales son captadas, almacenadas o conducidas. Además de distribuir o redistribuir las aguas entre sus miembros, resolviendo conflictos que se puedan producir entre los mismos.

El año 2011 la DGA realizó un estudio en el cual identificó las potenciales Juntas de Vigilancia a instaurarse en la cuenca del río Biobío (Anexo 6), el resultado arrojó que la constitución de JV, deberían focalizarse en los ríos Biobío, Duqueco, Laja, Renaico, Huequecura, Quillaileo y Malleco. De existir una futura JV en el río Biobío, o en sus principales afluentes, deberían considerarse en el equipo PSA.

#### **b. Ministerio de Salud – SEREMI Región del Biobío**

El saneamiento deficiente del agua en sistemas de suministro de agua potable o la gestión inapropiada de los mismos, está relacionado con la transmisión de diversas enfermedades, como el cólera, diarreas, hepatitis A, fiebre tifoidea entre otros. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502.000 muertes por diarrea al año (OMS, 2016), en esta materia, el equipo del PSA debe contar con personal calificado en temas de salud. Al respecto destacan dos departamentos a nivel local:

##### **b.1) Departamento de Acción Sanitaria**

Debido a su función de planificación, coordinación y control de la fiscalización sanitaria, es necesario contar en el equipo PSA con un profesional del Departamento de Acción Sanitaria, específicamente de la Unidad de Control Ambiental, ya que este encargado participa en la evaluación y fiscalización de los proyectos que ingresan al sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en la región, además de autorizar y fiscalizar a las empresas sanitarias.

Dentro de este departamento existe también la Unidad de Saneamiento Básico, encargada de autorizar, monitorear y fiscalizar sistemas de agua potable rural

(APR), lo cual se vuelve importante dentro de un PSA al ser otro usuario del agua de la cuenca del río Biobío.

## **b.2) Departamento de Salud y Planificación Sanitaria**

Entre los departamentos con atribuciones a nivel de salud regional encontramos el de Salud y Planificación Sanitaria, cuyo objetivo es proteger la salud de la población de la región del Biobío, mediante la identificación, vigilancia e intervención sobre los factores de riesgo de la salud de las personas y su medio ambiente y sobre los problemas de salud colectivos; diseñando oportunamente estrategias de prevención centradas en la equidad, la participación, el compromiso, la probidad y el respeto a las personas, su entorno familiar y comunitario. Entre sus facultades destaca en relación con un PSA, el elaborar y ejecutar políticas, planes y proyectos de desarrollo regional en el área de la salud pública y planificación sanitaria, que estén enmarcados en los lineamientos estratégicos del sector o en el Plan Nacional de Salud.

Otro tema relevante al momento de hablar de un PSA, es la vigilancia de enfermedades transmisibles por el agua consumida, para esto existe la Unidad de Vigilancia Epidemiológica, que investiga los brotes de enfermedades transmisibles, coordina la aplicación de medidas de control epidemiológico y asesora al encargado de la gestión sanitaria en la respuesta a situaciones de epidemia y otras emergencias sanitarias.

## **c. Ministerio Medio Ambiente – SEREMI Región del Biobío**

### **c.1) División de Recursos Naturales y Biodiversidad**

Es importante contar en el equipo del PSA con un encargado del Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos (Res. Exenta N° 876 Art.5, 2015) el cual se encarga de colaborar con los organismos competentes, en la formulación de las políticas ambientales para el manejo, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos. Además de coordinar el proceso de generación de normas de calidad ambiental, emisión y de planes de prevención y/o descontaminación. Su participación sería útil ya que una de sus funciones además de las ya mencionadas es analizar y sistematizar datos intersectoriales de parámetros fisicoquímicos, con

lo cual se pueden estudiar formas de minimizar la contaminación del agua en fuentes de abastecimiento.

### **c.2) División de Información y Economía Ambiental**

Otro posible integrante de un equipo de PSA, es el Departamento de Información Ambiental, que tiene entre sus funciones administrar el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), para así conocer la información existente sobre todo en el ámbito industrial, que pueden afectar la calidad de las aguas de la cuenca de captación. Este departamento además debe llevar a cabo acciones necesarias para velar por el cumplimiento de los convenios internacionales, en las materias de su competencia.

### **d. Ministerio de Energía - SEREMI Región del Biobío**

La cuenca del río Biobío tiene 17 centrales hidroeléctricas operando y 4 en proyecto. La producción actual supera los 2800W, lo cual seguirá en aumento luego de la puesta en marcha de las centrales en proyecto. Esta importante actividad hidroeléctrica influencia la calidad de las aguas y altera el régimen de caudales (Hunter, 1992; Richter *et al.*, 1996; Richter *et al.*, 1998; Fernández, 2012). Es importante considerar entonces, un miembro del Ministerio de Energía en el equipo del PSA, en especial de la División de Desarrollo Sustentable (Res. Exenta N°17 Art.16, 2010), quien tiene como objetivo coordinar y compatibilizar la política energética con el desarrollo local, el cambio climático y el cuidado del medio ambiente. Actualmente el personal de la oficina del ministerio de energía en la Región del Biobío analiza y estudia en conjunto las funciones ya mencionadas.

### **e. Ministerio de Agricultura – SEREMI Región del Biobío**

#### **e.1) Comisión Nacional de Riego (CNR)**

Otro uso de agua en la cuenca del río Biobío es el riego, el cual corresponde a un caudal total cercano a los 220 m<sup>3</sup>/s, con una capacidad de riego de aproximadamente 220.000 hectáreas (Parra *et al.*, 2009; EULA, 2016). Por ello es necesario contar en el equipo con un profesional de la Comisión Nacional de Riego a nivel regional, que realice las funciones que se le confieren a la División de

Estudios, Desarrollo y Políticas (Res. Exenta N° 1654), cuyo objetivo es crear, incrementar o mejorar las capacidades de los agricultores y sus organizaciones, en materia de gestión de riego, de manera de utilizar el recurso de forma eficiente e inteligente.

#### **f. Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MININT)**

##### **f.1) Oficina Regional de Emergencia Región del Biobío (OREMI)**

No podemos dejar de lado el hecho que nuestro país se encuentra constantemente frente a amenazas de origen natural y antrópico, que pueden afectar de manera directa o indirecta la seguridad del agua potable en la cuenca. Para ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo es necesario incorporar al equipo del PSA el trabajo de la OREMI, del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. A nivel regional, debería contemplar personal que homologue las funciones de la División de Protección Civil (DTC 509 Art.18, 1983), la cual se encarga en situaciones normales de estudiar las diversas variables de catástrofes naturales o provocadas por el hombre, que han afectado o puedan afectar a nuestro país, con el propósito de analizar sus causas, los factores agravantes, los requerimientos que demandarían en caso de producirse y recomendar las correspondientes medidas preventivas o de mitigación. Su participación en un posible equipo PSA se justifica ya que busca ejecutar acciones de prevención, respuesta y rehabilitación frente a situaciones de riesgo colectivo.

##### **f.2) Gobierno Regional (GORE) - Región del Biobío**

La cuenca del río Biobío tiene la particularidad de abarcar dos regiones, el 72% de la superficie de la cuenca está ubicada dentro de la región del Biobío; en las provincias de Concepción y Biobío y parte de Ñuble (Quillón, Yungay y Pinto); mientras que un 28% de su extensión se encuentra en la región de la Araucanía, en la provincia de Malleco.

Para el caso de la región del Biobío, se requiere contar con un miembro de la División de Planificación y Desarrollo Regional (Res. Exenta N° 1184), ya que esta unidad tiene como funciones realizar estrategias regionales de desarrollo sustentable, coordinación regional y territorial, estudios, políticas y análisis de

información. Por otro lado, es importante incorporar a un miembro del Consejo Regional (CORE) Biobío, específicamente de la Comisión Agrícola y Recursos Hídricos, en donde reconocen que la región vive un momento complejo tanto para el riego como para el agua de consumo humano y plantean analizar temas como la recuperación de las cuencas, fiscalización a faenas forestales e incluso la recuperación y saneamiento de lagunas y humedales; lo anterior, es un eje central en la creación e implementación de un PSA.

El porcentaje de la cuenca perteneciente a la región de la Araucanía no es menor, sobre todo si consideramos la actividad forestal, agrícola, celulosa y también sanitaria de la provincia de Malleco, que influye directamente en la calidad y cantidad de aguas presentes en afluentes del Biobío como el río Malleco, Renaico y la subcuenca del Vergara. Por lo tanto, sería necesario contar con el encargado de la Comisión Agrícola y Recursos Hídricos de la región de la Araucanía.

#### **g. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo**

##### **g.1) Agencia para la Sustentabilidad y Cambio Climático**

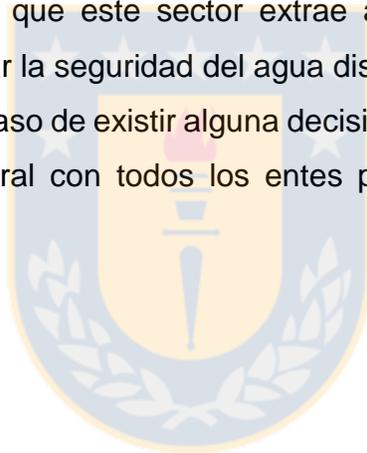
La Agencia para la Sustentabilidad y Cambio Climático es un comité de la Corporación de Fomento (CORFO). Estará dirigido por un Consejo Directivo de 13 integrantes entre los cuales se encuentra Ministro de Economía y Medio Ambiente, Subsecretario de Energía, Superintendente de Medio Ambiente, entre otros. Su misión es fomentar la inclusión de la dimensión del cambio climático y el desarrollo sostenible en el sector privado y en los territorios por medio de acuerdos voluntarios y coordinación con otras instituciones públicas (ASCC, 2018), por lo cual sería adecuado contar con su participación en un equipo PSA siendo la conexión entre los actores públicos y privados.

Uno de los acuerdos liderados por la Agencia es el Acuerdo Voluntario para la Gestión de Cuencas (AVGC) el cual se expresa en un Convenio entre empresas, organismos públicos competentes y otras organizaciones involucradas, para fomentar la producción limpia y el desarrollo sustentable en cuencas con actividades productivas, a través de sucesivos acuerdos y compromisos voluntarios de acciones orientados a cumplir objetivos y metas comunes (ASCC, 2018).

#### **h. Incorporación de privados en un equipo de PSA**

En un equipo de Plan de Seguridad de Agua, es fundamental contar con la empresa responsable del suministro de agua potable, como ya se mencionó el 95,8% del país está a cargo de empresas sanitarias privadas, motivo por el cual no se incluyó en la Tabla 8 (SISS, 2016b). En el caso de estudio de la Planta La Mochita, es fundamental el papel de ESSBIO, por el nivel de conocimiento técnico del proceso desde que el agua ingresa en el punto de captación hasta que llega al consumidor final.

En lo que respecta al sector industrial, la cuenca del río Biobío abastece a usuarios de industrias del área forestal, celulosa, petroquímica, siderúrgica, alimentaria, curtiembre y piscicultura. Sería importante contar con representantes del conglomerado industrial ya que este sector extrae aguas y descarga riles a la cuenca, lo que puede afectar la seguridad del agua disponible en la captación de la Planta La Mochita. Así, en caso de existir alguna decisión que los involucre, se haga pensando de manera integral con todos los entes públicos y privados sobre la gestión del recurso hídrico.



## **5.2 Resultados para el Objetivo específico 2: Sintetizar la información disponible de la cuenca de captación de la Planta La Mochita en el contexto de PSA.**

Dentro de la información importante que se debe tener en cuenta para evaluar la cuenca, es el uso de agua que existe en la misma, identificando así las principales actividades que influyen de manera directa o indirecta en la calidad y cantidad de agua en la cuenca del río Biobío. A continuación, se presentan los principales usos de agua para la cuenca del río Biobío.

### **i. Usos de Agua en la Cuenca del río Biobío**

La cuenca del río Biobío suministra agua para múltiples usos ya sea consuntivos y no consuntivos. En la primera categoría, los usos más demandantes de agua son la agricultura, el sector forestal, la industria y el abastecimiento de agua potable. En lo que respecta a usos no consuntivos o no extractivos, la generación hidroeléctrica es el uso principal, seguido por la acuicultura (EULA, 2016). Además, recibe efluentes domésticos, industriales y emisiones difusas provenientes del sector agropecuario. A continuación, se presenta información sobre algunos de los principales usos:

#### **a. Riego**

En la cuenca existe una red de canales, actualmente administrados por Asociaciones de Canalistas (AC). Se estima que el caudal captado para riego, en términos de la cantidad de conducción de los canales matrices, asciende a los 220m<sup>3</sup>/s, los cuales se utilizan para regar una superficie de aproximadamente 220.000 hectáreas (Parra *et al.*, 2009; EULA, 2016). El listado de canales de regadío existentes en la cuenca del río Biobío se presentan en el Anexo 7.

#### **b. Captación para Agua Potable**

En la cuenca del río Biobío, los caudales domésticos de captación se cuantifican en 46.000.000 m<sup>3</sup>/año, los cuales se distribuyen un 63% en la zona de la Cordillera de la Costa y zona costera; un 30% en el Valle Central y un 7% en la zona andina y

preandina. Un 72% del agua potable producida en la cuenca corresponde a fuentes superficiales y un 28% a fuentes subterráneas (EULA, 2016).

En zonas urbanas la captación de agua potable es realizada por la empresa sanitaria ESSBIO, por otro lado, en la mayoría de las zonas rurales, la captación se realiza a través de los Comités de Agua Potable Rural (APR). Se estima que las captaciones de agua potable ascienden a 1.633 l/s, concentrada en 19 localidades. Las dos mayores captaciones se ubican en Concepción y Los Ángeles, captando 1.200 l/s entre ambas, correspondiente al 72,2% del total de captaciones (EULA, 2016b).

### **c. Captaciones Industriales**

El uso industrial constituye uno de los sectores más importantes en cuanto a uso de recursos hídricos ya sea a través de captaciones superficiales o subterráneas, en el curso principal o en tributarios de la cuenca. Según la información contenida en el Informe “Sistema de Cuencas Hidrográficas” generado en el marco del Plan de Ordenamiento Territorial (PROT) de la región del Biobío, existen más de 50 empresas y 696 bocatomas, las que en su conjunto extraerían cerca de 16.000 l/s, desde distintos puntos de la cuenca (EULA, 2016b). Las industrias más importantes de la cuenca son: hidroeléctricas, Forestales, Celulosas y papeles, Petroquímica, Siderúrgica y la industria alimentaria (Anexo 8). Del caudal captado por el sector industrial, aproximadamente un 95% se consume en el territorio ubicado entre la cordillera de la Costa y la zona costera y solo el 5% es consumido en el valle central o depresión intermedia (EULA, 2016b).

### **d. Generación Hidroeléctrica**

La cuenca tiene alrededor de 17 centrales hidroeléctricas instaladas y operando a la fecha (Tabla 7), siete de ellas en la Sub cuenca del río Laja (Abanico, El Toro, Antuco, Quilleco, Rucúe, Laja y Diuto); dos en el río Duqueco (Mampil y Peuchén) y en el curso principal Boquiamargo, Los Padres, Malpucho, Renaico y tres

embalses artificiales que en conjunto cubren un tramo embalsado de 74 km; todo lo anterior con una producción que supera los 2800 MW, cifra que aumentará con los nuevos proyectos que se esperan en la cuenca del río Biobío (Tabla 8). En la Figura 11, se presenta la distribución de hidroeléctricas operativas y aprobadas en la cuenca del río Biobío.

**Tabla 7. Ubicación de las centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Biobío.**

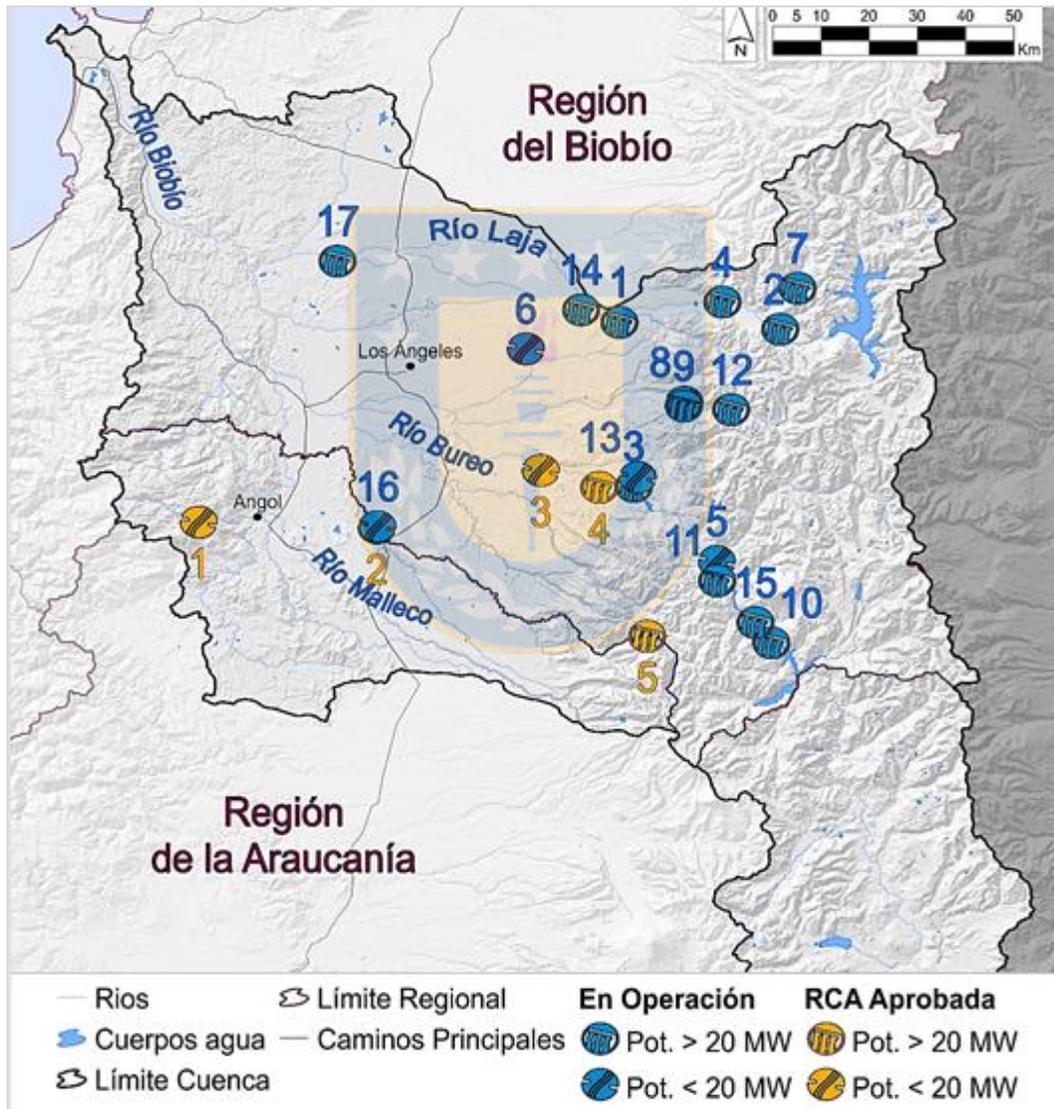
(EULA, 2016)

Estado	ID	Nombre	Tipo de Central	Cauce utilizado	Potencia (MW)
Operativa	1	Rucué	De pasada	río Laja	178,4
	2	Abanico	De pasada	río Laja	136,0
	3	Angostura	Embalse	río Biobío	323,8
	4	Antuco	De pasada	río Laja	320,0
	5	Boquiamargo	De pasada	río Biobío	1,1
	6	El Diuto	De pasada	río Laja	3,3
	7	El Toro	Embalse	río Laja	450,0
	8	Los Padres	De pasada	río Biobío	2,2
	9	Mampil	De pasada	río Duqueco	55
	10	Palmucho	De pasada	río Biobío	32,0
	11	Pangue	Embalse	río Biobío	467,0
	12	Peuchén	De pasada	río Duqueco	85,0
	13	Quillaileo	De pasada	río Biobío	0,8
	14	Quilleco	De pasada	río Laja	70,8
	15	Ralco	Embalse	río Biobío	690,0
	16	Renaico	De pasada	río Biobío	6,3
	17	Laja	De pasada	río Laja	33,0

**Tabla 8. Ubicación de proyectos de centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Biobío.**

(EULA, 2016)

Estado	ID	Nombre	Tipo de Central	Potencia (MW)
Proyecto	1	Picoiquén	De pasada	19,20
	2	Canal Biobío Sur	De pasada	7,10
	3	Quilaco	De pasada	12,00
	4	Rucalhue	De pasada	90,00



**Figura 11. Distribución de la actividad hidroeléctrica actual y proyectada en la cuenca.**

(EULA, 2016)

#### **e. Descarga de aguas servidas y residuos domésticos**

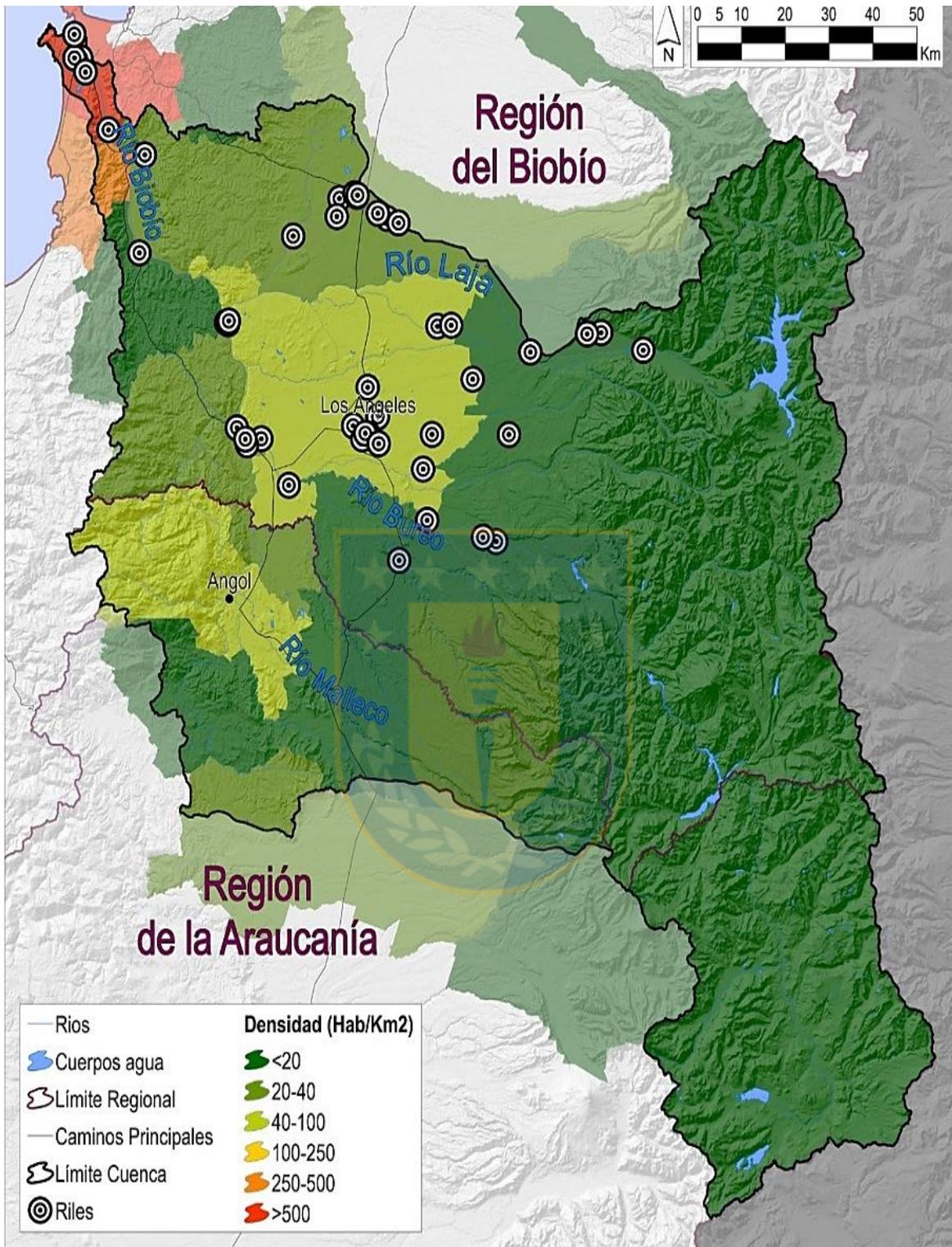
La población estimada de la cuenca en base al Censo 2002, es de 1.206.070 personas, el 47% se encuentra representada por la conurbación Concepción-Talcahuano. Un 85% de la población de la cuenca corresponde a población urbana, mientras que solo un 15% es población rural. De los 17 centros urbanos que descargan directamente al río Biobío, no estaban al año 1993 sometidas a ningún tipo de tratamiento; sin embargo, actualmente el 100% de los centros urbanos presentan tratamiento (Figura 12). En la cuenca existe un total de 21 PTAS (Anexo 9).

#### **f. Descarga de efluentes industriales**

La cuenca del río Biobío es receptor de efluentes industriales de la industria química, petroquímica, alimentos, celulosa y papel. Las comunas que concentran el mayor número de industrias en la cuenca son Concepción, Talcahuano y Los Ángeles (EULA, 2016). El aporte en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del área industrial se estima cerca de 10 veces el aporte de tipo urbano. La principal carga industrial que evacua al río corresponde principalmente a la industria forestal de celulosa y/o papel, localizada desde Negrete hasta la desembocadura con tres plantas de celulosa: CMPC Pacífico, CMPC Santa Fe, CMPC Laja y una fábrica de papel; Papeles Biobío (Chiang *et al.*, 2010, Chamorro *et al.*, 2013).

Otros efluentes industriales importantes son la refinación del petróleo (Enap S.A.) y la producción de azúcar (Iansa S.A.), esta última no realiza una evacuación constante de efluentes (EULA, 2016b).

En la Tabla 9, se presenta un resumen de actividades y usos de suelo para cada área de vigilancia (AV) definidas en la NSCA del río Biobío.



**Figura 12. Densidad de población por comuna y riles (industriales y domiciliarios).**

(EULA, 2016)

**Tabla 9. Actividades y Usos de Suelo en la Cuenca del río Biobío por Área de Vigilancia.**

(EULA, 2016)

<b>AV</b>	<b>Actividades y Usos de Suelo en la cuenca</b>
<b>BI-10</b>	Nativo (+++), Agrícola, Urbano, Forestal exótico, Termoeléctrica (Lonquimay), Central de Biomasa (Ancali).
<b>BI-20</b>	Hidroeléctricas de embalses, Forestal nativo, Forestal exótico, Agrícola, Urbano.
<b>BI-30</b>	Hidroeléctricas, Forestal exótico, Celulosa (CELPAC, Santa Fé), Centrales de biomasa, Extracción de áridos, Agrícola (+++), Urbano (++) , Ganadero (++) , Riles.
<b>BI-40</b>	Hidroeléctricas, Forestal exótico, Celulosa (CMPC Laja), Termoeléctrica (CMPC), Central de biomasa (HBS) Extracción de áridos, Agrícola (+++), Urbano (++) , Ganadero (++) , Riles
<b>BI-50</b>	Hidroeléctricas, Forestal exótico, Extracción de áridos, Agrícola (+++), Urbano (++) , Ganadero (++) .
<b>BI-60</b>	Hidroeléctricas, CAP, Papelera (Biobío), Refinería de Petróleo, Termoléctrica (Petropower), Central de Biomasa (Energía Biobío), Extracción de áridos, Forestal exótico (++) , Agrícola (+) , Urbano (+++) , Riles
<b>BU-10</b>	Forestal exótico (+++), Agrícola (++) , Urbano (++) , Ganadero (++) , Riles
<b>DU-10</b>	Hidroeléctricas de pasada, termoeléctrica (JCE), Forestal exótico (+++), Agrícola (++) , Urbano (++) , Ganadero (++) , Riles.
<b>LA-10</b>	Hidroeléctricas (urbano).
<b>LA-20</b>	Hidroeléctricas, Extracción de áridos, Forestal exótico (+++), urbano (+) , Riles

+Intervención baja, ++ Intervención media, +++ Intervención Alta

## **ii. Monitoreo en la Cuenca del río Biobío**

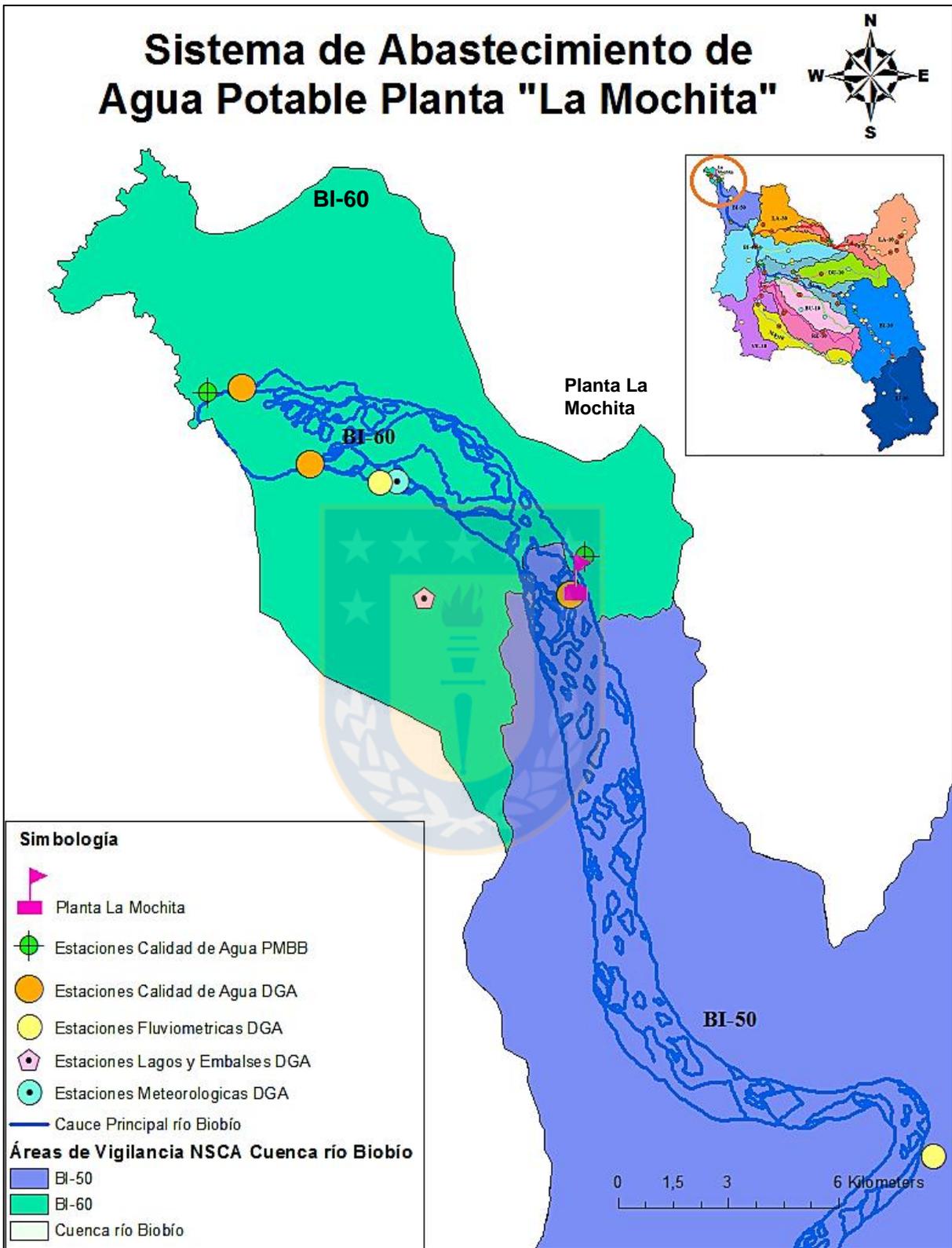
Para una gestión eficiente de recursos hídricos, es necesario contar con información hidrológica, generada a través de una red hidrométrica. Una red hidrométrica es un conjunto de estaciones que proporciona datos, los cuales permiten medir variables del ciclo hidrológico como características de los flujos superficiales y subterráneos, calidad de agua, precipitaciones, estos datos, constituyen información fundamental para diseñar y evaluar proyectos energéticos, sistemas de irrigación; y estudiar temas como el cambio climático (Lictevout *et al.*, 2013). En nuestro país actualmente, el organismo encargado en operar y mantener la red de monitoreo hidrométrica es la Dirección General de Aguas (DGA); además de los reportes oficiales de este organismo, se desarrollan monitoreos de variables de interés en cuencas hidrográficas, por actores vinculados al recurso hídrico de manera privada, respondiendo a objetivos propios de monitoreo.

La identificación de estaciones de monitoreo vigentes en la cuenca del río Biobío, pertenecientes a la Dirección de Aguas y al Programa de Monitoreo del río Biobío, son presentados en la Figura 13, en donde se identifican las Áreas de Vigilancia de la NSCA. Con el fin de identificar visualmente la ubicación de la Planta La Mochita y el monitoreo en sus cercanías, se presenta la Figura 14.



**Figura 13. Red Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas DGA, estaciones calidad de agua PMBB EULA-Chile y áreas de vigilancia NSCA Biobío, junto a sus principales subcuencas.**

(SIIT-BCN, 2010; PMBB 2016; DGA 2017)

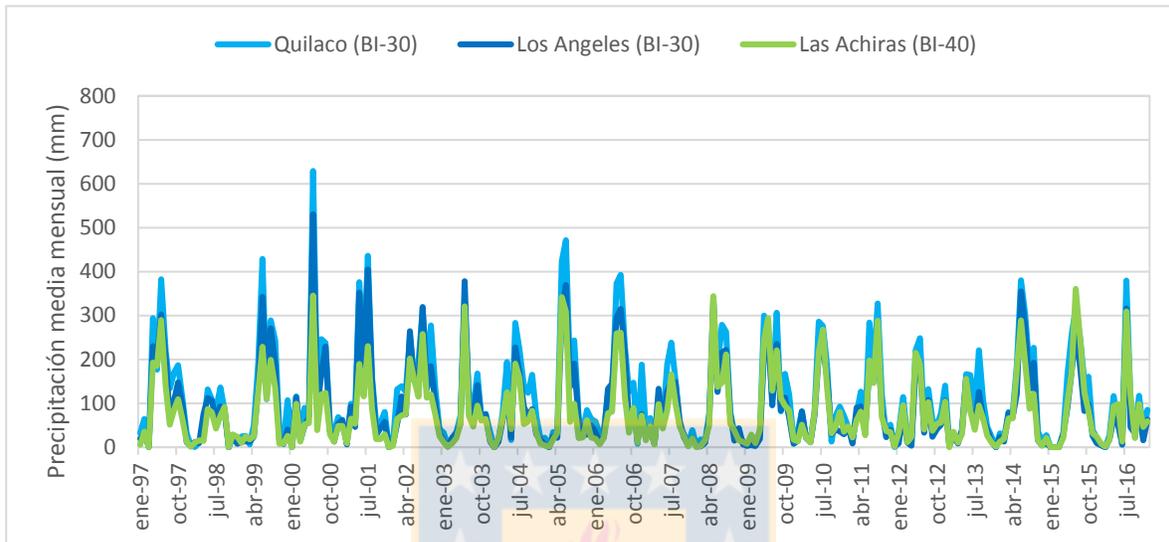


**Figura 14. Ubicación Planta "La Mochita" en la cuenca del río Biobío.**

(SIIT-BCN, 2010; PMBB 2016; DGA, 2017)

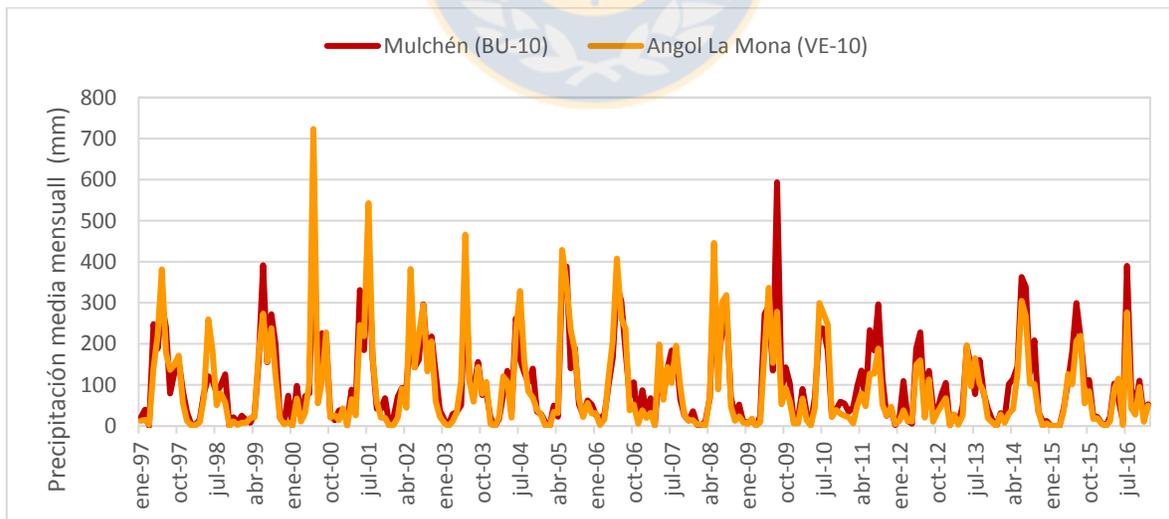
### a. Estaciones de Monitoreo Pluviométricas (DGA)

Existen 33 estaciones pluviométricas vigentes en la cuenca del río Biobío (Anexo 10). De estas, solo 5 estaciones poseen datos reportados de enero a diciembre para las últimas dos décadas, correspondiente al periodo 1997-2016 (Figura 15 y 16).



**Figura 15. Estaciones con 20 años de reportes pluviométricos, ubicadas en el cauce principal, río Biobío.**

(DGA,2017)



**Figura 16. Estaciones con 20 años de reportes pluviométricos ubicadas en afluentes del Biobío.**

(DGA, 2017)

Analizando toda la base de datos de Estaciones Fluviométricas en la Cuenca del río Biobío de la DGA, se observa que la brecha de información más recurrente es escasez de estaciones con información continua, lo que podría ser un problema el estudio de fenómenos como sequias o eventos extremos en sectores como la parte baja de la cuenca, o de afluentes como el Laja.

#### **b. Estaciones de Monitoreo Fluviométricas (DGA)**

En la cuenca del Biobío identificaron 45 estaciones fluviométricas vigentes en la cuenca (Anexo 11). Solo 11 de estas poseen una data superior o igual a 25 años de caudales medios mensuales, reportados de enero a diciembre (Tabla 10).

**Tabla 10. Estaciones con al menos 25 años reportados de enero a diciembre, caudales medios mensuales.**

(DGA, 2017)

<b>Nombre Estación</b>	<b>Primer Reporte</b>	<b>Años reportados (Enero a diciembre)</b>	
río Vergara en Tijeral	1985	25	1985 a 1999; 2001 a 2007; 2009 a 2011
río Laja en Puente Perales	1988	25	1988 a 2009; 2013 a 2015
río Biobío en Desembocadura	1985	27	1985 a 2008; 2012;2013; 2015
río Renaico en Longitudinal	1982	26	1983 a 1987; 1989 a 2005; 2011 a 2013; 2015
río Biobío en Rucalhue	1985	28	1985 a 2008; 2010 a 2012; 2015
río Duqueco en Cerrillos	1962	35	1963-1964; 1967 a 1972; 1974 a 1988; 2000-2001; 2005 a 2013; 2015
río Duqueco en Villacura	1966	43	1966; 1968 a 1972; 1974; 1976-1977; 1981 a 2004; 2006 a 2012; 2014-2015
río Malleco en Collipulli	1920	47	1949 a 1957; 1960 a 1964; 1967; 1970 a 1972; 1977 a 1981; 1984; 1987 a 1999; 2002-2003; 2006-2007; 2010 a 2015

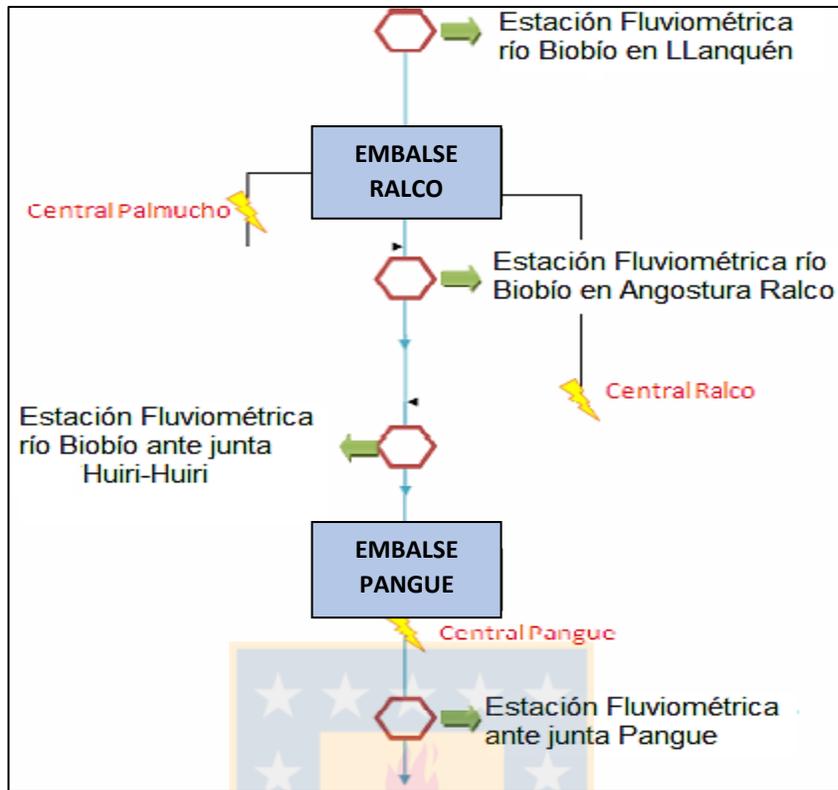
**Tabla 10. Estaciones con al menos 25 años reportados de enero a diciembre, caudales medios mensuales.** (Continuación)

(DGA, 2017)

Nombre Estación	Primer Reporte	Años reportados (Enero a diciembre)	
río Mininco en Longitudinal	1963	48	1964 a 1972;1975-1976; 1978 a 1986; 1988 a 2015
río Mulchén en Mulchén	1937	52	1938 a 1952; 1957; 1959 a 1966; 1969; 1971; 1979 a 1981; 1983 a 2004; 2008
río Lirquén en Cerro el Padre	1942	70	1943 a 1970; 1972 a 1990; 1992 a 2011; 2013 a 2015

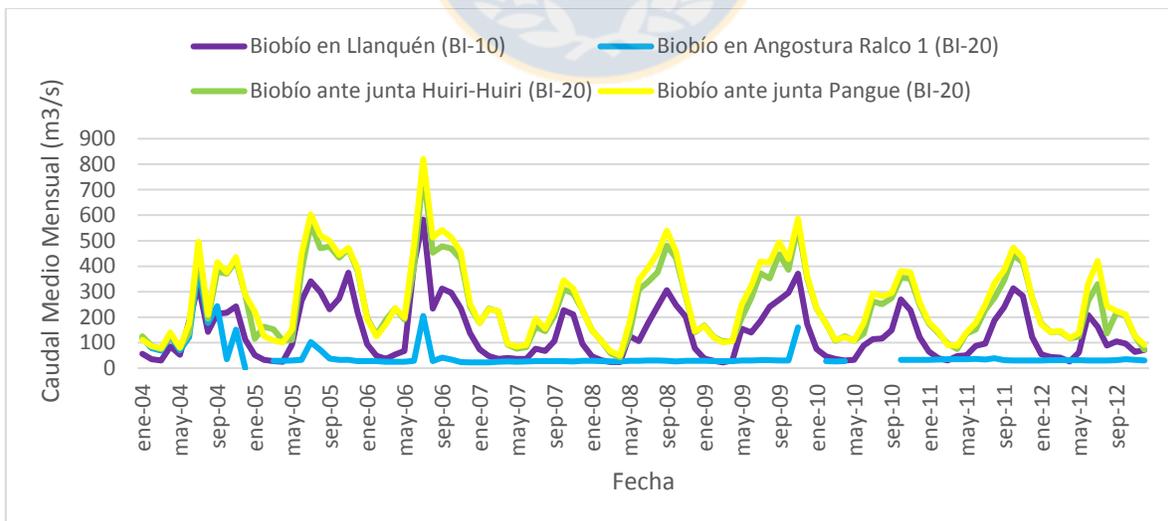
Analizando la base de datos de Estaciones Fluviométricas de la DGA, notamos que la brecha de información más recurrente es la falta de estaciones con información continua a lo largo de toda la cuenca. La escasez de datos limita conocer los cambios de caudal y disponibilidad histórica y actual de agua en la cuenca. Este déficit de información dificultará por ende la correcta toma de decisiones frente a temas como los derechos de aprovechamiento de agua ya existentes y futuros.

Por ejemplo, la cuenca del río Biobío, desde 1993, ha tenido un rápido desarrollo y crecimiento del sector energético. Si en los noventa, solo se explotaba la cuenca del río Laja, alcanzando los 900MW, hoy se identifican en operación 17 centrales; 4 de ellas son embalses y 13 centrales de pasada; llegando a los 2854 MW (EULA,2016). Actividad que diversos autores sugieren afectaría el régimen de caudales; y en conjunto, sin duda hay una influencia sobre la calidad de aguas y modificaciones del hábitat, sobre todo debajo de los embalses, donde ocurre el reemplazo de comunidades bentónicas y peces (Hunter, 1992; Richter *et al.*, 1996; Richter *et al.*, 1998; Fernández, 2012; EULA, 2016). Considerando estos impactos, se escogió analizar la información fluviométrica disponible de la DGA, con el fin de ver si es posible visualizar una variación de caudales, aguas arriba y aguas abajo de los embalses Ralco y Pangué (Figura 17), en base a líneas de tiempo de caudales medios mensuales (Figura 18 y 19).



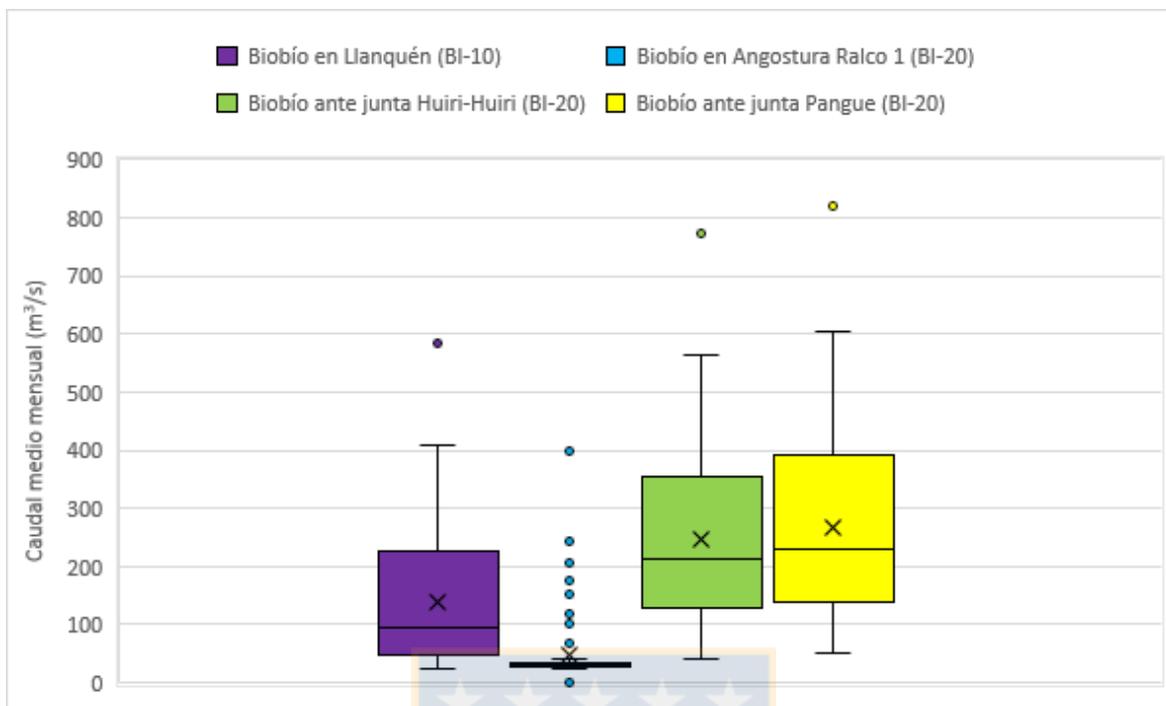
**Figura 17. Ubicación estaciones fluviométricas utilizadas para estudiar variabilidad de caudales en la cuenca del río Biobío.**

(Fernández, 2012)



**Figura 18. Comportamiento de caudales medios mensuales (m³/s) por estación, periodo 2004-2012.**

(DGA, 2017)



\***Datos utilizados:** Biobío en Llanquén (108); Biobío en Angostura Ralco 1 (99); Biobío ante junta Huiru-Huiru (108); Biobío ante junta Pangué (108). En el periodo 2004-2012 (108 meses).

**Figura 19. Comportamiento de caudales medios mensuales (m<sup>3</sup>/s) por estación, periodo 2004-2012.**

(DGA, 2017)

Se compararon los caudales medios mensuales de la estación Biobío en Llanquén, ubicada 27km aguas arriba del muro del embalse Ralco, con la estación Biobío en Angostura Ralco, ubicada 0,7km aguas abajo del muro.

De lo anterior se observa que los caudales disminuyen considerablemente, alcanzando un promedio de 46,5m<sup>3</sup>/s, versus 138m<sup>3</sup>/s, aguas arriba del embalse, se sugiere que estos valores pueden ser producto de las fluctuaciones de corto plazo en los caudales turbinados (hydropeaking). Lo que ocurre en las estaciones Huiru-Huiru (524 msnm) y junta Pangué (420msnm) es un alza en los caudales medios mensuales, en este caso se sugiere que el aumento ocurre debido al aporte de afluentes al cauce principal y al aumento de precipitaciones (menor altitud). La Figura 20 y 21 muestran las precipitaciones medias mensuales (mm) ocurridas en

el periodo 2007-2012 en la estación embalse Ralco (742msnm) y la estación embalse Pangue (512msnm).



**Figura 20. Precipitaciones medias mensuales (mm) periodo 2007-2012 estación embalse Ralco.**

(DGA, 2017)



**Figura 21. Precipitaciones medias mensuales (mm) periodo 2007-2012 estación embalse Pangue.**

(DGA, 2017)

### **c. Estaciones de Calidad de Agua de la Dirección General de Aguas**

El deterioro de la calidad del agua se ha convertido en motivo de preocupación a nivel mundial con el crecimiento de la población humana, la expansión de la actividad industrial y agrícola y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (ONU, 2015). Debido a la alta demanda de agua, es importante conocer su calidad y así saber el nivel de perturbación existente en cuencas de captación (OMS, 2006)

En la cuenca del río Biobío existen 31 estaciones de monitoreo de calidad de aguas vigentes, las cuales presentan reportes de parámetros físico-químicos 3 o 4 veces por año. El registro de estaciones con mayor y menor data (número de muestreos) se presenta en el Anexo 12.

En un PSA, es necesario conocer la situación de calidad del agua captada por el prestador de servicios de agua potable. Por este motivo, se presenta la Tabla 11, la cual presenta los parámetros físico-químicos reportados en la estación más cercana a la captación (estación BB11), identificando las veces que ha sido reportado en un total de 60 muestreos desde 1998 a 2016. Adicionalmente, se identificó la presencia de cada parámetro muestreado, en las normas ya mencionadas (NCh 409/; NCh 1333; NSCA río Biobío y D.S N° 90). El análisis normativo para todos los parámetros monitoreados en la cuenca se presenta en el Anexo 13.

**Tabla 11. Parámetros físico-químicos reportados en la estación “río Biobío antes Planta La Mochita” y normados en NSCA río Biobío.**

(DGA, 2017)

Parámetro	Presencia del parámetro en el marco normativo				Nº Datos reportados (Total 60)
	NCh 409/1	NCh 1333	NSCA río Biobío	Decreto Supremo Nº 90	
Aluminio Total		•	•	•	50
Cloruro	•	•	•	•	39
<i>Coliformes Fecales</i>	•	•	•	•	1
Conductividad Específica		•	•		59
DQO			•		56
DBO			•	•	1
Fósforo de Ortofosfato			•		47
<i>Fósforo Total</i>			•	•	1
Nitrógeno de Nitrato	•		•		42
Nitrógeno de Nitrito	•		•		1
<i>Nitrógeno Total</i>			•		1
Oxígeno Disuelto		•	•		58
pH	•	•	•	•	57
Sulfato	•	•	•	•	34

A continuación, se presenta un breve análisis de parámetros monitoreados por la DGA, a nivel de cuenca y la estación más cercana a la captación BB11:

Nutrientes: En la estación BB11, parámetros como el Fósforo y Nitrógeno Total solo poseen 1 registro de 60. Esta situación se repite a lo largo de la cuenca, en donde solo 12 estaciones poseen datos para los parámetros ya mencionados.

Resulta importante contar con datos de muestreo de nutrientes ya que altas concentraciones de estos parámetros podrían favorecer procesos de eutrofización y posteriormente desarrollar un crecimiento excesivo de Floraciones Algales; lo que finalmente podría traducirse en problemas a nivel de infraestructura de la planta

(tapar filtros), problemas de olor y sabor del agua, o en el peor de los casos provocar problemas a la salud de la población.

Coliformes Fecales: Este parámetro es un indicador universal de contaminación microbiológica (Fernández *et al.*, 2001; Barzola *et al.*, 2003), que se encuentra presente en todas las normas analizadas. Indicando la importancia de contar con el monitoreo de Coliformes Fecales conocer la calidad microbiológica del agua en el punto de captación y a lo largo de la cuenca. Actualmente, con la información que entrega la DGA, no es posible realizar un análisis microbiológico de la situación histórica o actual en la cuenca.

Dentro de este tema, es importante considerar la incorporación de otros indicadores microbiológicos en la normativa nacional, ya que la literatura internacional ha revelado presencia de virus entéricos en aguas superficiales, subterráneas, crudas o tratadas, a pesar de cumplir con los estándares de calidad para las bacterias coliformes (Cho *et al.*, 2000; Hot *et al.*, 2003; Pusch *et al.*, 2005).

Turbidez: Este parámetro está presente en la NCh 409/1 y NCh 1333, que establece los requisitos de calidad de agua para diversos usos (incluyendo el consumo humano). En cuanto menor es la turbidez en el agua, menor es la concentración de microorganismos, bacterias, protozoos, presentes en la misma; de ahí la importancia en el seguimiento de las normativas de calidad de agua potable y agua de diversos usos (Apartado 7, recreación y estética NCh 1333/78). En la estación BB11 no se monitorea el parámetro turbidez y en toda la cuenca solo existe registro en 4 de las 31 estaciones pertenecientes a la DGA.

La turbidez se transforma en un problema a la seguridad del agua, sobre todo cuando ocurren fenómenos climatológicos como lluvias torrenciales, donde la turbidez aumenta y puede significar una interrupción al suministro de agua potable; por lo cual se recomienda tener presente este parámetro en el monitoreo de la DGA con el fin de observar cambios a lo largo de la cuenca y poder tomar medidas preventivas en el control.

#### d. Estaciones de Calidad de Agua del Programa de Monitoreo del Biobío

El PMBB posee información de la calidad de las aguas de la cuenca del río Biobío desde diciembre de 1994, a la actualidad En un total de 14 estaciones; 7 de ellas en el cauce principal del río Biobío y 6 en los principales afluentes de la cuenca (Tabla 12). Los parámetros son muestreados en 3 meses marzo (estiaje), agosto (crecida) y diciembre (deshielo). El Anexo 14 presentan todos los parámetros muestreados en la cuenca en la última década.

**Tabla 12. Identificación de las estaciones del PMBB.**

(EULA, 2016)

Nombre	Cauce	Ubicación
BB0	Biobío	Estación de referencia antes de Pangué
BB1	Biobío	Balsadero Callaqui situado aguas debajo de Pangué
BB3	Biobío	Puente Coigüe en Los Ángeles
BB4	Biobío	1 km aguas arriba de la confluencia con el río Vergara
BB7	Biobío	Biobío aguas debajo de San Rosendo
BB8	Biobío	Santa Juana
BB11	Biobío	Próximo a la bocatoma de Planta La Mochita (Concepción)
BB13	Biobío	Desembocadura del río a 200m del mar (frente a la barra)
GU1	Guaqui	Río Guaqui antes confluencia con el Biobío
VE2	Vergara	1 km aguas arriba de la confluencia con el río Biobío
DU1	Duqueco	12 km antes de la confluencia con el río Biobío
BU2	Bureo	5 km antes de la confluencia con el río Biobío, en Negrete
LA1	Laja	Puente Tucapel, en las proximidades de Tucapel
LA2	Laja	1 km antes de la confluencia con el río Biobío

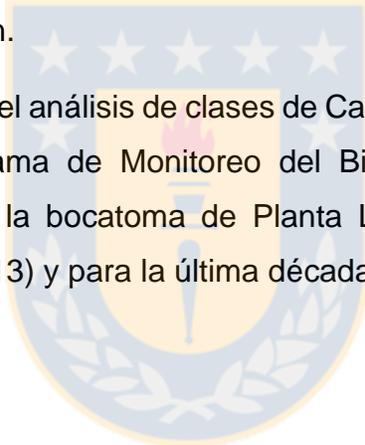
### **iii. Análisis Clases de Calidad de Agua Estación BB11**

La Norma Secundaria de Calidad de Agua tiene como objetivo conservar o preservar los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos, a través de la mantención o mejoramiento de la calidad de aguas de la cuenca (D.S 9/2015 art.1).

Existe una norma secundaria para la cuenca del río Biobío y en ella se describe una clasificación de 5 Clases de Calidad de Aguas.

En términos de un PSA es importante considerar esta clasificación ya que nos indicará el estado del agua de la cuenca en términos de calidad y perturbación del medio. Por ejemplo, si el agua presenta clase 4 (altamente perturbado) o 5 (muy perturbada con grandes cargas de contaminantes) ésta presentará mayor peligro para la salud de la población.

A continuación, se presenta el análisis de clases de Calidad de Agua, realizado para cada parámetro del Programa de Monitoreo del Biobío específicamente en la estación BB11 (Próxima a la bocatoma de Planta La Mochita) para el periodo histórico 1994-2016 (Tabla 13) y para la última década 2007-2016 (Tabla 14).



**Tabla 13. Clases de Calidad de Agua obtenida para cada uno de los parámetros incluidos en la NSCA del río Biobío respecto a 3 medidas estadísticas, en la estación BB11 del PMBB (2007-2016).**

Parámetro NSCA río Biobío	Clases de Calidad de Agua* (1994-2016)		
	Mediana	Percentil 66	Promedio
Aluminio (mg/L)	0,06	0,11	0,26
Amonio (mg/L)	0,02	0,03	0,03
AOX (mg/L)	0,02	0,03	0,03
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	580	2407	2999
Conductividad (µS/cm)	85	105	93
DBO5 (mg/L)	1,1	1,46	1,44
DQO (mg/L)	6	7,65	6,80
Fenoles Totales	0,003	0,005	0,005
Fósforo Total (mg/L)	0,06	0,06	0,06
Nitrato (mg N/L)	0,55	0,68	0,55
Nitrito (mg N/L)	0,005	0,005	0,008
Nitrógeno Total (mg/L)	0,28	0,31	0,29
Oxígeno Disuelto (mg/L)	9,3	10,22	9,52
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	11,7	14,8	19,6

Categorías\*

clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	clase 5
Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

Según la tabla anterior, los parámetros que presentan a lo largo de las últimas dos décadas situación regular, mala y muy mala son: AOX; Coliformes Fecales, Conductividad, Fenoles Totales, Fósforo Total, Nitrato, Nitrito y Sólidos Suspendidos Totales.

**Tabla 14. Clases de Calidad de Agua obtenida para cada uno de los parámetros incluidos en la NSCA del río Biobío respecto a 3 medidas estadísticas, en la estación BB11 del PMBB (2007-2016).**

Parámetro NSCA río Biobío	Clases de Calidad de Agua (2007-2016)		
	Mediana	Percentil 66	Promedio
Aluminio (mg/L)	0,06	0,06	0,0874
Amonio (mg/L)	0,02	0,02	0,03
AOX (mg/L)	0,02	0,02	0,02
Coliformes Fecales (NMP/100ml)	167	425	982
Conductividad (µS/cm)	83	112	94
DBO5 (mg/L)	1	1,1	1,2
DQO (mg/L)	4,65	5,626	5,3
Fenoles Totales	0,003	0,003	0,003
Fósforo Total (mg/L)	0,05	0,06	0,06
Nitrato (mg N/L)	0,65	0,78	0,63
Nitrito (mg N/L)	0,005	0,005	0,007
Nitrógeno Total (mg/L)	0,29	0,32	0,30
Oxígeno Disuelto (mg/L)	9,9	10,2	9,8
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	8,6	10,5	10,7

Categorías\*

clase 1	clase 2	clase 3	clase 4	clase 5
Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

En el caso del análisis de la última década, mejoró la situación de parámetros como el Aluminio y Amonio, pasando de clase buena a excelente; y los Fenoles Totales y Sólidos Suspendidos Totales, ahora poseen clase buena en todos los estadísticos estudiados.

Los parámetros AOX, Coliformes Fecales, Conductividad, Fósforo Total, Nitrato, Nitrito y Nitrógeno Total, presentan clase regular, mala o muy mala para la estación BB11.

Para estos parámetros de clase regular, mala o muy mala en la estación BB11 se efectuó un análisis de su situación en todas las estaciones de la cuenca pertenecientes al PMBB.

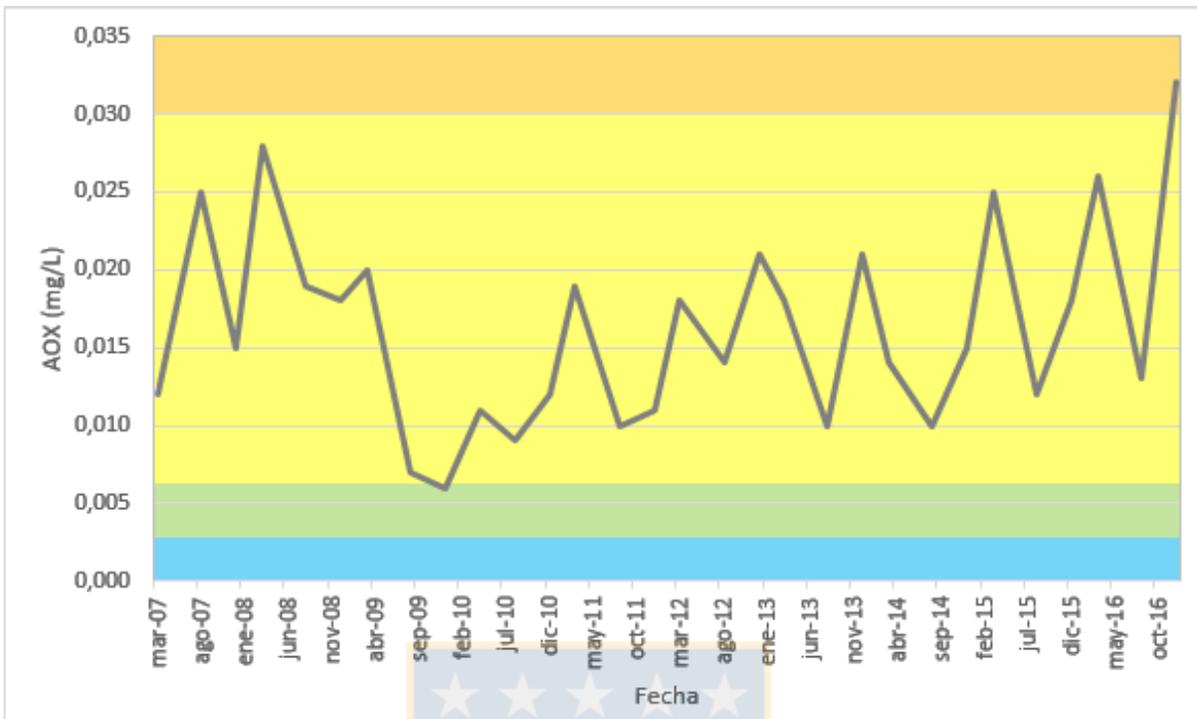
#### **a. AOX (mg/L)**

Se denomina AOX a los compuestos halógenos orgánicos, este parámetro no identifica moléculas específicas presentes, si no la suma de los compuestos de este tipo (Müller, 2003). Incluyen una serie de sustancias resultantes de la reacción del grupo halógeno (cloro, bromo, yodo y fluor), con moléculas orgánicas, principalmente producidas por actividades antropogénicas (Duarte *et al.*, 2009).

Son producidos como residuos de actividades industriales, como lavado químico de ropa, desengrasado de metales, blanqueamiento de fibras de celulosa y tratamiento de agua con compuestos de cloro. Además, por actividades domésticas y agrícolas, que utilizan desinfectantes y pesticidas (Duarte *et al.*, 2009).

El grupo AOX abarca muchos compuestos del tipo plaguicida, plásticos, disolventes, lubricantes y medicamentos. Incluye moléculas de gran persistencia, toxicidad y bioacumulación en aguas, animales y plantas, como los PCB (bifenilos policlorados), HCB (hexaclorobenceno), dieldrín, dioxinas y furanos (Cherif *et al.*, 2006). Un 56% de los contaminantes prioritarios identificados por la EPA, así como 23 tipos de contaminantes orgánicos persistentes, seleccionados por el Convenio de Estocolmo son compuestos AOX.

En el caso de la estación más cercana a la planta La Mochita (estación BB11), los niveles de AOX para el periodo 2007-2016, se encuentran en clase de calidad regular, con una leve alza a calidad mala, el año 2016 (Figura 22).



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

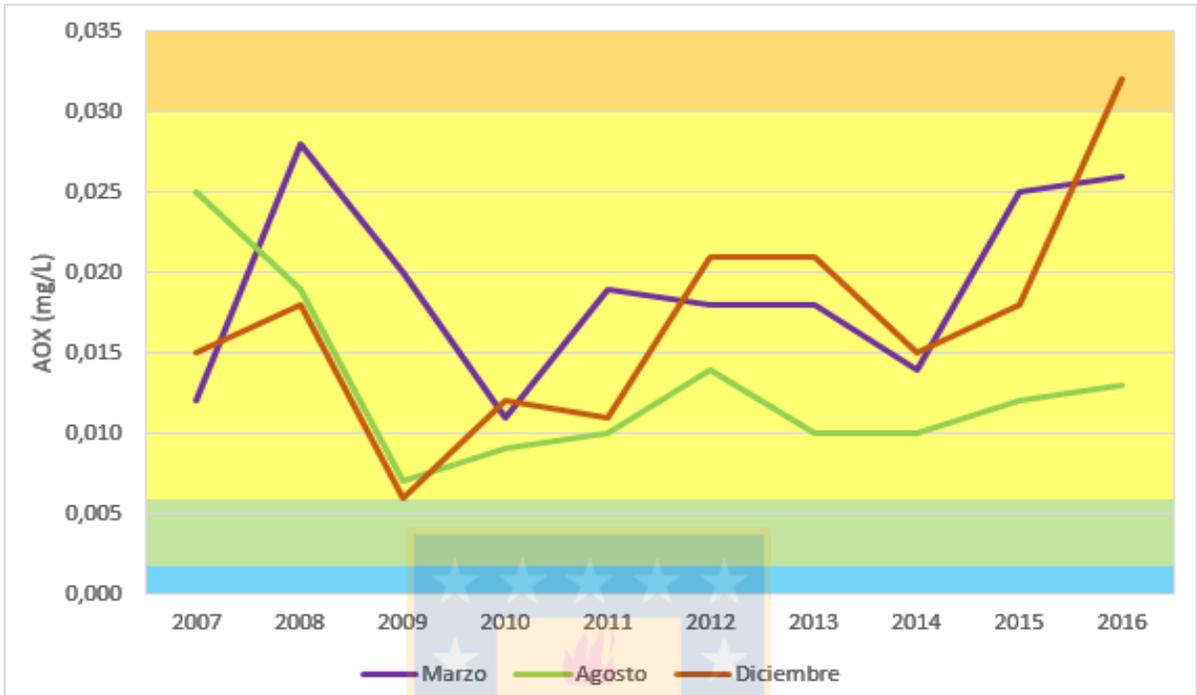
**Figura 22. Distribución temporal AOX (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11.**

El PMBB realiza 3 muestreos al año, correspondientes a los meses de marzo, agosto y diciembre (Figura 23). Al comparar los niveles de AOX en cada muestreo se puede observar que marzo y diciembre son los meses más críticos en la última década, se sugiere que el aumento en los niveles de AOX se relaciona con la disminución de caudal en estos periodos y que los valores en agosto se pueden deber a un mayor poder de dilución del río asociado a un aumento en el caudal.

Las principales causas de estos niveles de AOX se pueden deber a un arrastre o bioacumulación en aguas debido a actividades como:

- La industria de la celulosa, donde se utilizan compuestos clorados en el blanqueo de fibras de celulosa, ya que existe evidencia de que esta industria genera compuestos aromáticos y organoclorados que no son eliminados efectivamente por los sistemas de tratamiento convencionales (Ali y Sreekrishnan, 2001).

- Las plantas de tratamiento de aguas servidas en el proceso de desinfección, por la utilización de compuestos clorados como gas cloro o hipoclorito.

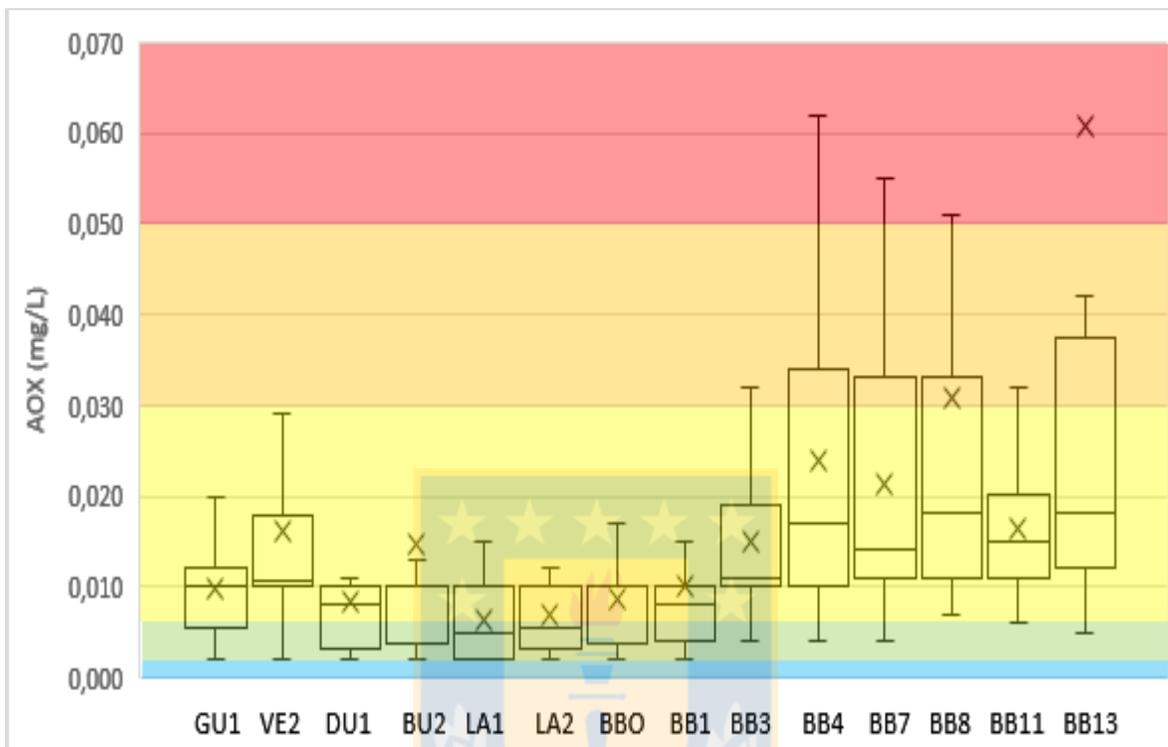


(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 23. Comparación niveles de AOX (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**

Debido a la perturbación endocrina y a la naturaleza tóxica de muchos de ellos, la presencia de AOX en aguas residuales ha generado preocupación (Dann y Hontela, 2011); ya que han sido enlistado como contribuyente de toxicidad aguda, crónica y efectos mutagénicos en organismos vivos (Chaparro y Pires, 2011); presentando incidencia en cáncer de endotelio y de mama, disminución de la calidad del semen, alteración en el tracto reproductivo masculino, aumento de la incidencia de cáncer testicular (Longnecker *et al.*, 1997; Shukla *et al.*, 2001; Delgado *et al.*, 2002). También actúan en la degeneración neuronal que conduce a la enfermedad de Parkinson (Nunes & Tajara, 1998; Tominaga & Midio, 1999). Según la literatura valores por encima de 0,05mg/L en aguas superficiales son suficientes para producir efectos tóxicos y mutagénicos (Yamamoto *et al.*, 1992). Para el caso de la estación

BB11, los niveles no han alcanzado aún este valor, pero si existen valores extremos superiores a este límite en varias estaciones de la cuenca durante la última década como BB4, BB7, BB8 (Figura 24).



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

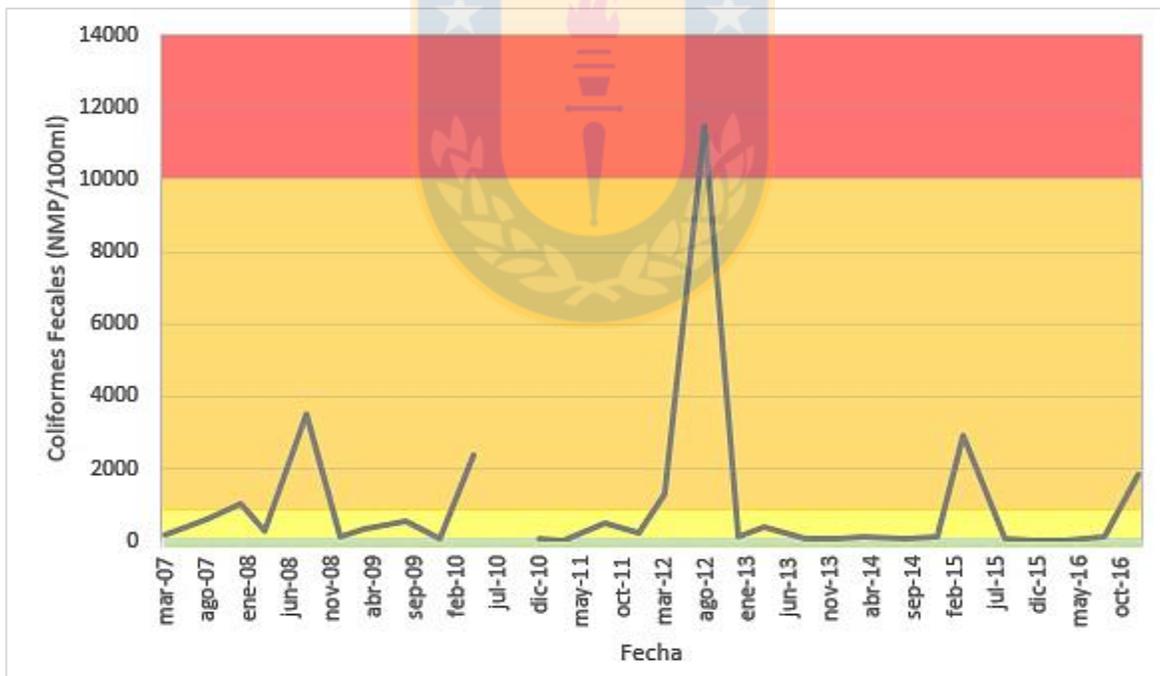
**Figura 24. Distribución de datos monitoreo AOX (mg/L) desde 2007 a 2016.**

En diversos países del mundo, se establecen niveles límites de descarga de efluentes AOX en kg/ADt, donde ADt es tonelada de pulpa secada al aire. En Chile el AOX no se encuentra regulado en el DS N°90, por lo tanto, no se sabe con certeza cuál es el aporte de fuentes difusas y también de fuentes puntuales. La identificación de las fuentes de aporte de AOX a la cuenca es importante ya que en la actualidad no se conoce la presencia y los niveles de AOX en agua potable y por ende es un peligro para la salud de las personas.

### b. Coliformes Fecales (NMP/100ml)

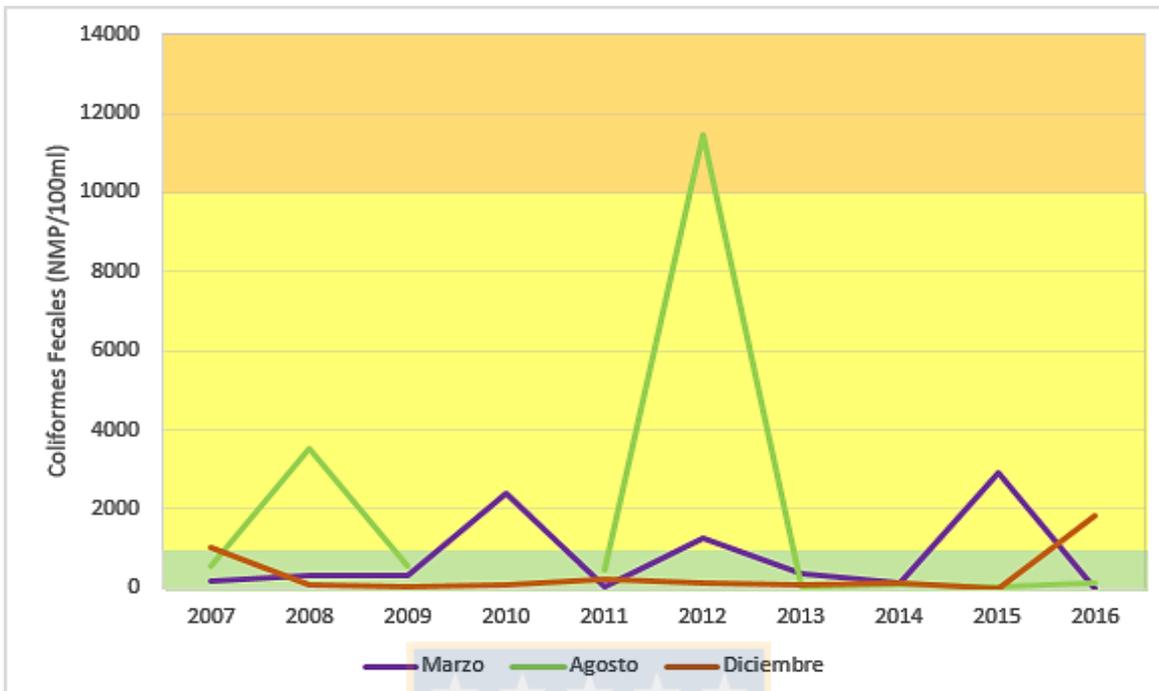
Los coliformes Fecales tienen el potencial de causar enfermedades infecciosas (Molina *et al.*, 2001). Dentro de los factores que influyen en la calidad de agua respecto a coliformes fecales encontramos la presencia de vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua de esa subcuenca, en el caso de los residuos de origen doméstico, la carga además está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal (Arcos *et al.*, 2005).

En la estación más cercana a la captación los valores de Coliformes Fecales se encuentran en clase regular y mala (Figura 25). La figura 26 muestra la situación respecto a Coliformes Fecales fluctúa constantemente y sin considerar el año 2012, los mayores valores se observan en marzo, esto puede deberse a un menor caudal en el río, lo que lleva a una menor capacidad de dilución de contaminantes en la cuenca.



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

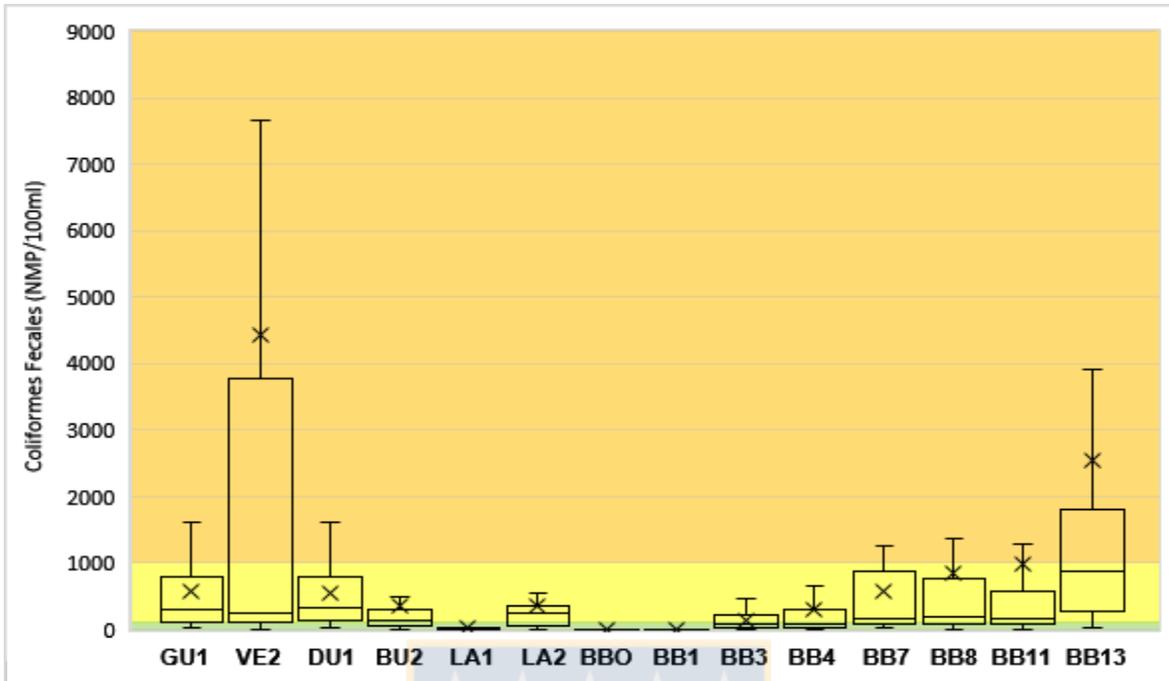
**Figura 25. Distribución temporal Coliformes Fecales (NMP/100ml), periodo 2007-2016, estación BB11.**



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 26. Comparación niveles de Coliformes (NMP/100ml) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**

El problema de calidad respecto a Coliformes Fecales se repite a lo largo de toda la cuenca (Figura 27). Se sugiere que los valores de Coliformes Fecales presentes en la cuenca pueden provenir de la contaminación difusa del área agrícola-ganadera.



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 27. Distribución de datos monitoreo Coliformes Fecales (NMP/100ml) desde 2007 a 2016.**

Programas de vigilancia en diferentes países del mundo analizan su calidad microbiológica empleando principalmente indicadores bacterianos como la presencia de *Escherichia coli* y de coliformes, pues son microorganismos de fácil y rápida medición (Arcos *et al.*, 2005; WHO, 2011). Sin embargo, varios estudios han demostrado que dichos métodos son ineficaces para indicar la presencia de otros agentes, como protozoos y virus patógenos en el agua (Grabow, 2001; Pusch *et al.*, 2005).

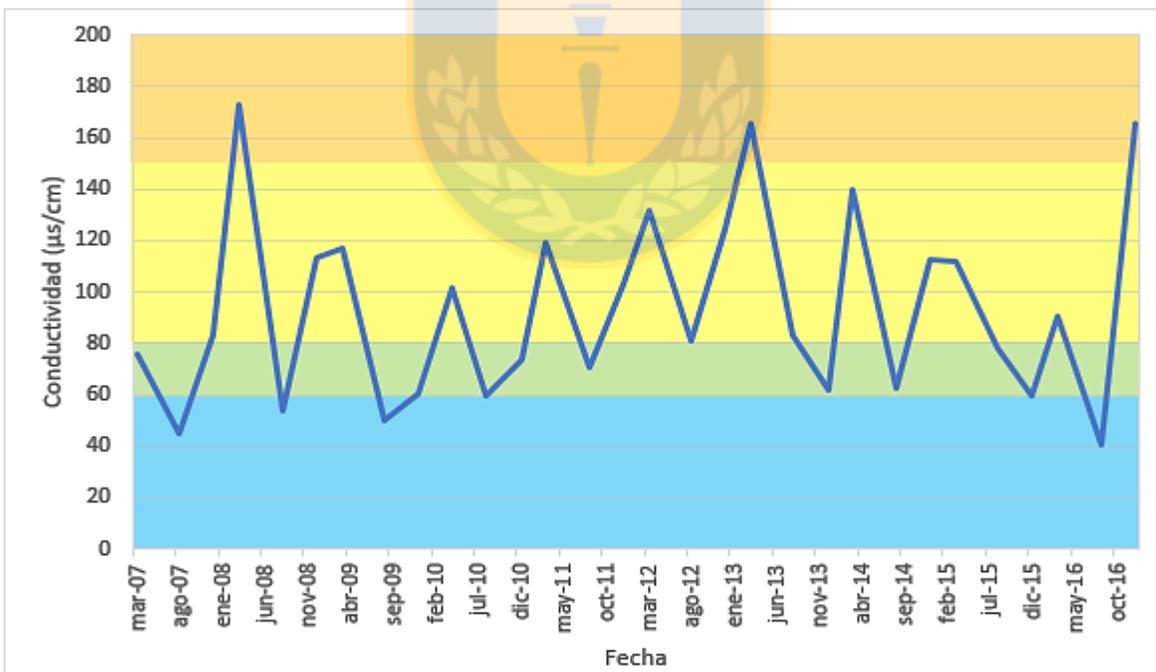
La presencia de agentes como los virus en el agua representa un riesgo para la salud pública. Pero al no existir monitoreo al respecto, no se puede prevenir la transmisión de virus por medio del agua. Se sugiere entonces proponer normativas para fortalecer los indicadores microbiológicos en los sistemas de suministro para mejorar la vigilancia epidemiológica.

### c. Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

La Conductividad refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración y tipo de sales disueltas en el agua. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma (Aumassanne y Fontanella, 2015).

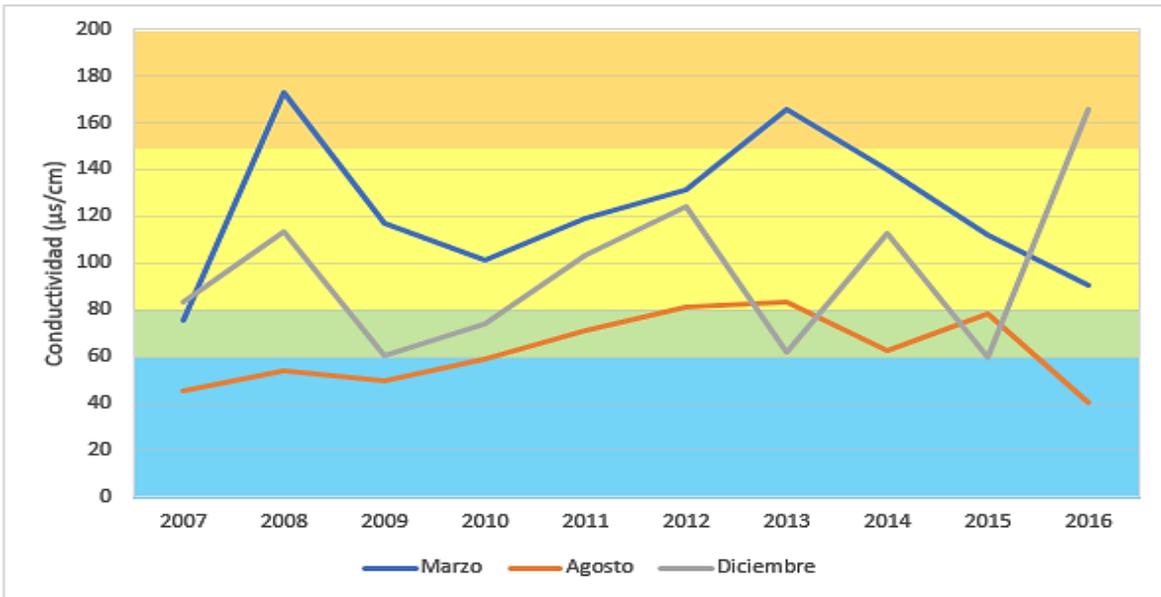
La Figura 28, presenta la distribución temporal de la conductividad en la estación BB11 y la Figura 29, el comportamiento de la Conductividad en los distintos meses de muestreo. Ambas figuras nos indican una tendencia al aumento el mes de marzo, esto puede deberse al menor poder de dilución del río y la poca movilidad de las aguas en este sector que se ubica en la parte final de la cuenca del río Biobío.

El caso más relevante respecto a conductividad en la cuenca es en la última estación del río Biobío, ya que se ve afectada por la conductividad del mar, aumentando los valores en este último trayecto (Figura 30).



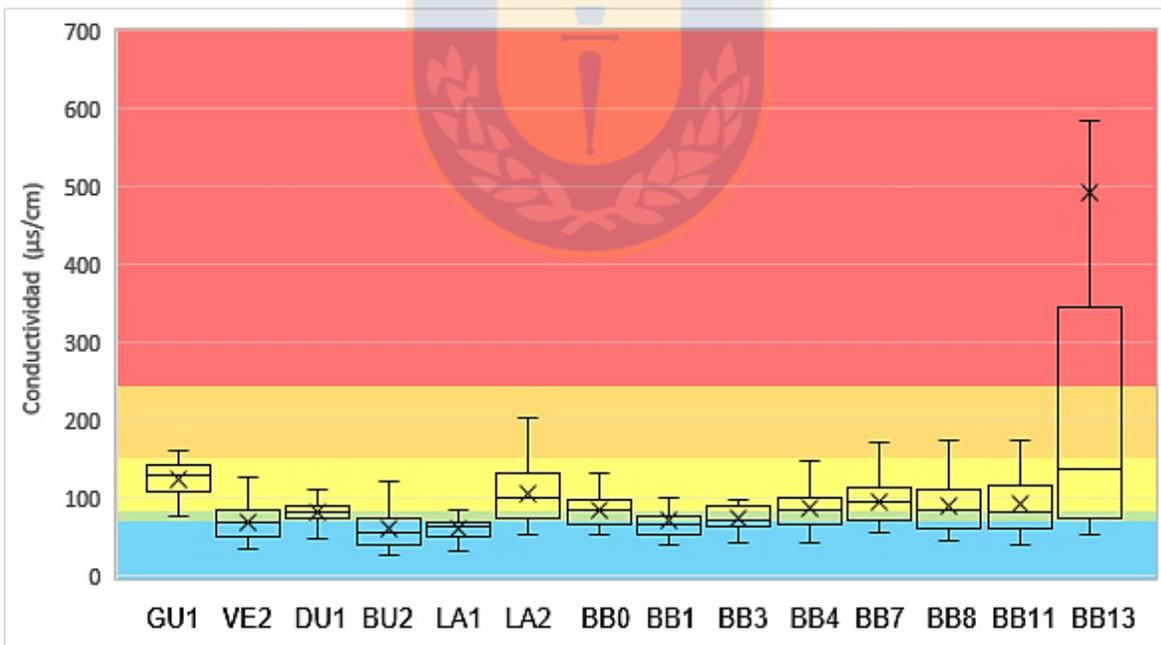
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 28. Distribución temporal Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), periodo 2007-2016, estación BB11.**



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 29. Comparación niveles de Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**



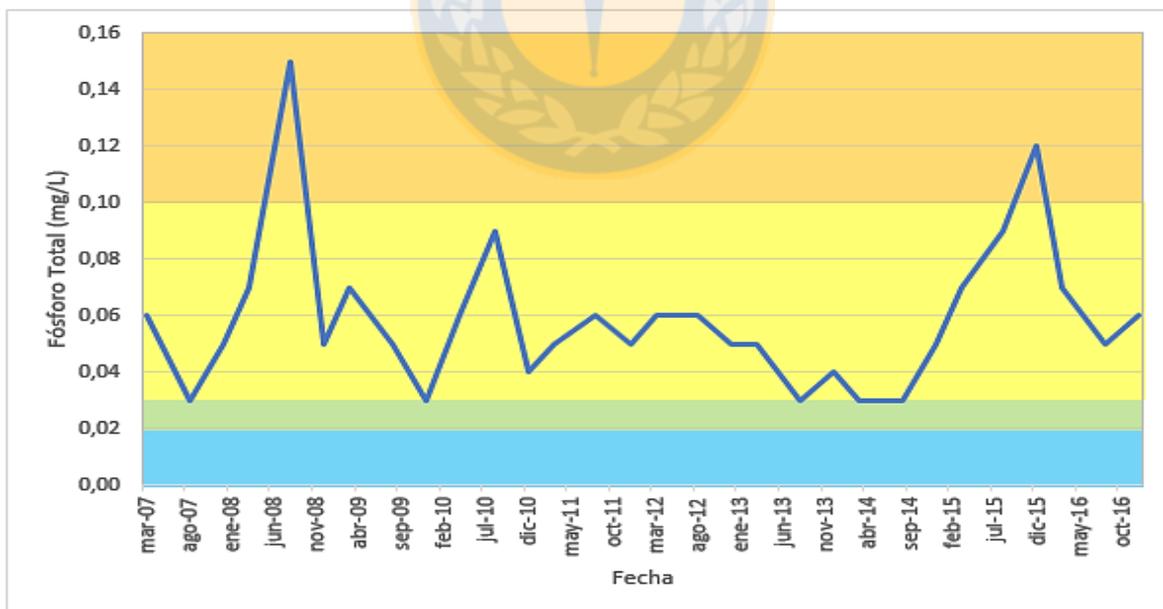
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 30. Distribución de datos monitoreo Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) desde 2007 a 2016.**

#### d. Fósforo Total (mg/L)

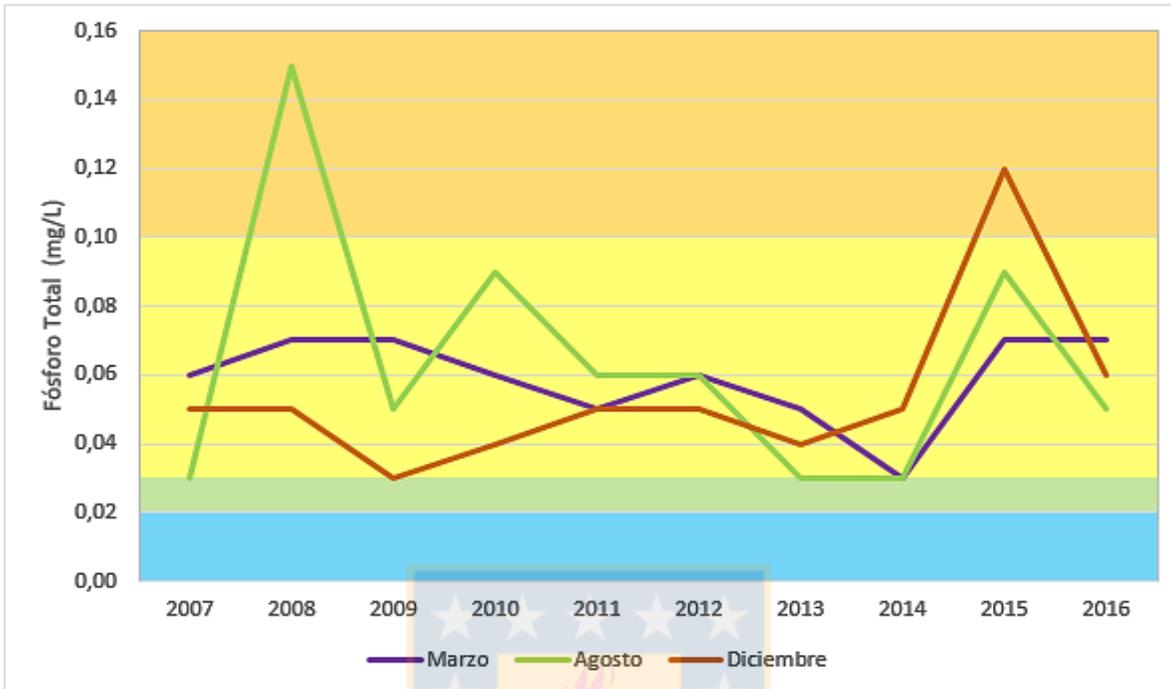
El fósforo, es un nutriente esencial para seres humanos, animales y plantas. Juega un papel importante en el metabolismo biológico y, en comparación con otros macronutrientes requeridos por la biota, el fósforo es el menos abundante y comúnmente el primer nutriente que limita la productividad biológica (Wetzel, 2001). Sin embargo, producto de las actividades antrópicas, ha aumentado excesivamente la carga de fósforo en muchos sistemas hídricos, provocando el fenómeno de eutrofización debido al enriquecimiento de nutrientes en el agua (MPCA, 2007). La primera respuesta de un sistema acuático a las adiciones de fósforo es el aumento de la productividad de las plantas, algas y biomasa (Chambers *et al.*, 2001)

En la estación BB11, la Figura 31 indica que para todo el periodo se presentan clases de calidad regular y mala. También en la Figura 32, se observa que hasta el año 2012, los valores eran más elevados en agosto; se sugiere que esto se podría deber a una mayor escorrentía de áreas agrícolas y domésticas. Posterior a esto, se observan valores más altos en diciembre, donde se sugiere podría afectar el menor caudal existente en el río.



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 31. Distribución temporal Fósforo Total (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11.**



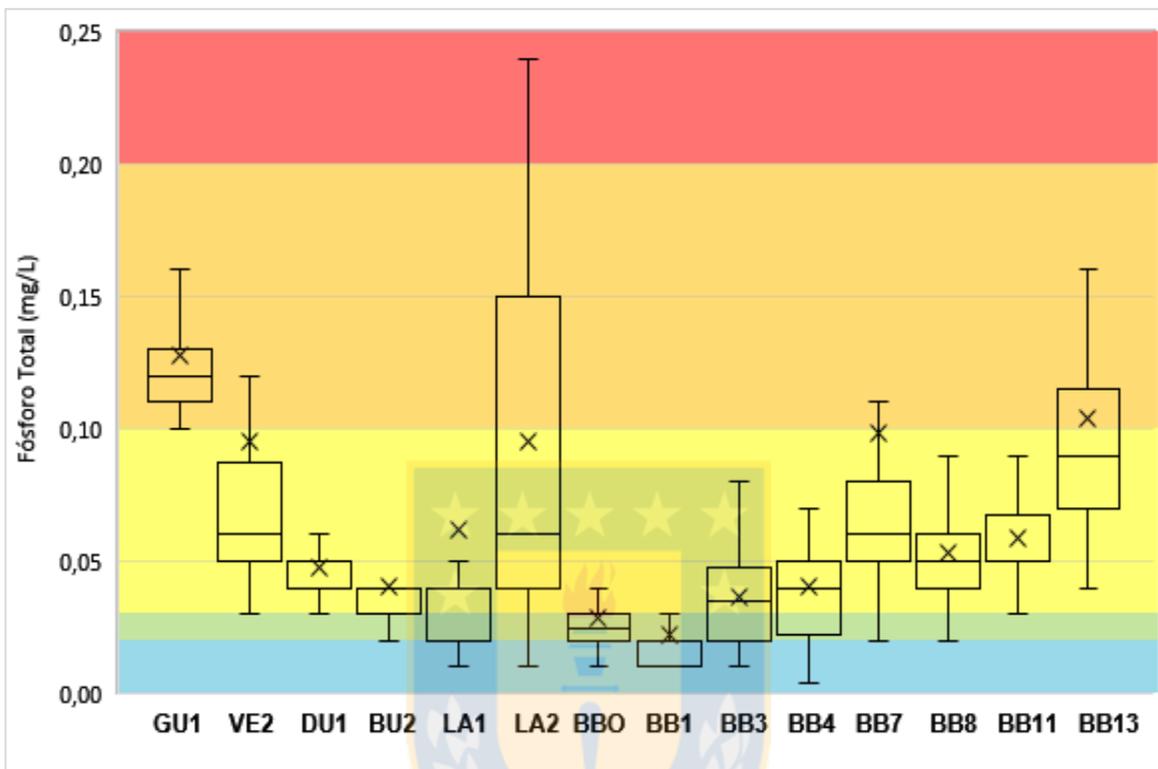
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 32. Comparación niveles de Fósforo Total (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**

En el caso del análisis de la cuenca, los valores de Fósforo Total se encuentran elevados, en clases de calidad regular en la mayor parte de la cuenca, destacan el caso de GU1 y LA2. Como se puede observar en la Tabla 9 (usos de la cuenca), las áreas de vigilancia en donde se ubican ambas estaciones poseen una importante actividad agrícola y centrales de biomasa, que podrían aportar a los elevados niveles de Fósforo en la zona (Figura 33). Se sugiere además que otras actividades como la piscicultura existente en la cuenca podrían generar un aporte de nutrientes como Fósforo Total.

Eventos como un aumento de nutrientes en condiciones de mezcla, claridad y temperatura adecuada, podrían provocar un crecimiento excesivo de algas, incluyendo ciertas especies de cianobacterias que pueden producir toxinas,

aumentando el riesgo para la vida acuática, el ganado y la salud humana, como lo son las Cianotoxinas (Chambers *et al.*, 2001; Funari y Testai, 2008). Este aumento de nutrientes puede afectar además el olor y sabor del agua potable suministrada.



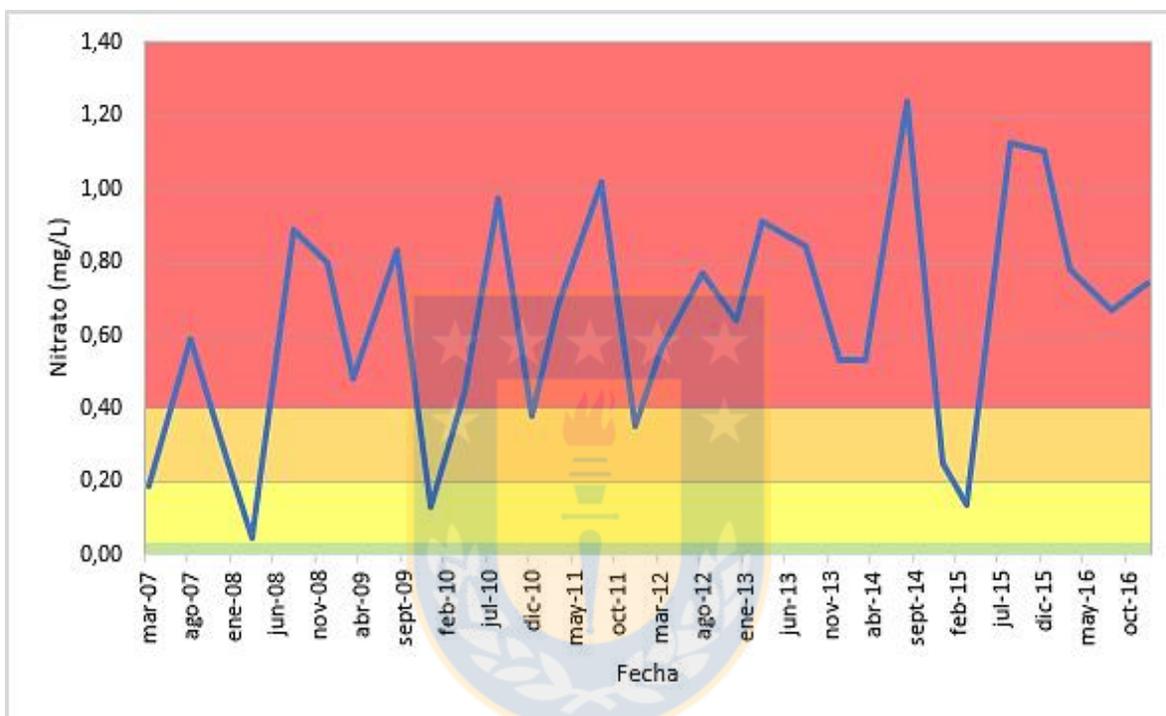
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 33. Distribución de datos monitoreo Fósforo Total (mg/L) desde 2007 a 2016.**

#### e. Nitrato (mg/L)

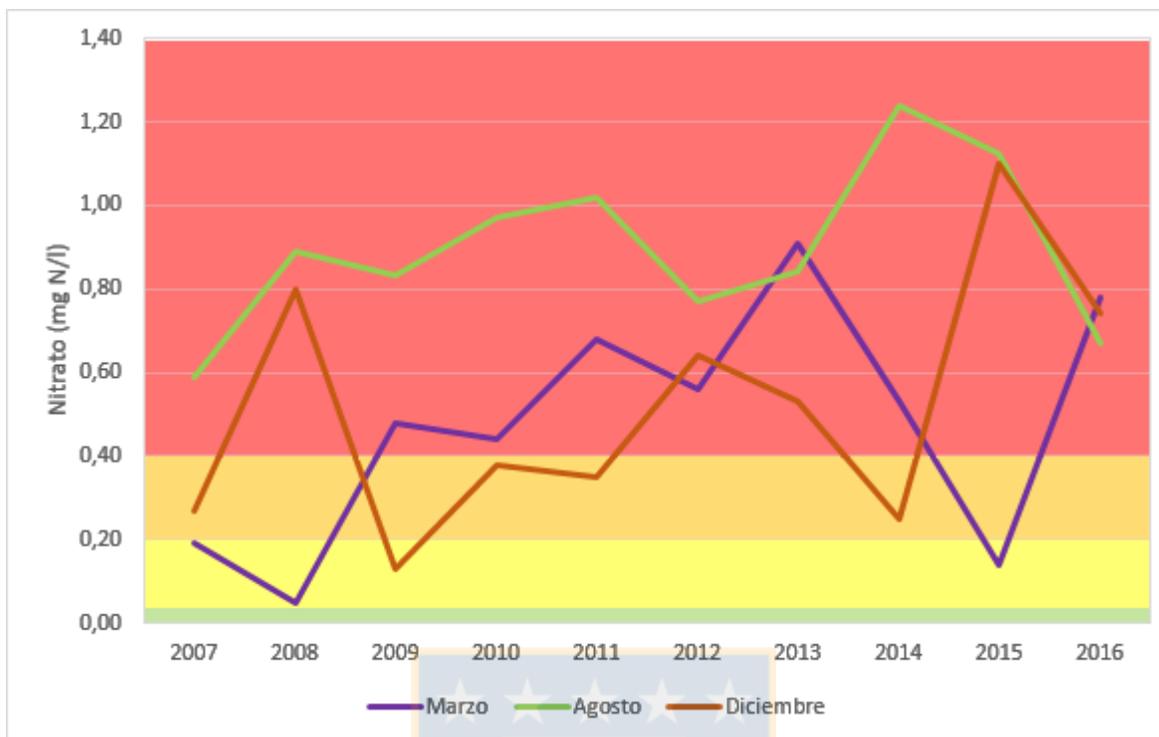
Los nitratos son iones formados por tres átomos de oxígeno, uno de nitrógeno y con una carga negativa ( $\text{NO}_3^-$ ). La concentración de nitratos (mg/L) en aguas superficiales tiene diversos orígenes, por fuentes naturales o antropogénicas, ya que se liberan cuando la materia orgánica es descompuesta por las bacterias del suelo, también por la dilución de efluentes industriales (Van Lanen *et al.*, 1993) y principalmente en la agricultura donde se utilizan como componentes de abonos y fertilizantes nitrogenados (Pulido-Bosh *et al.*, 2000).

En el caso de la estación BB11 los valores de nitrato en la última década se encuentran en clases de calidad regular, mala o en el mayor de los casos muy mala (Figura 34). Con variaciones que han ido en alza en los últimos años. Analizando los registros por mes de muestreo, se observa que agosto es el mes con valores más elevados (Figura 35). Esto podría ocurrir por escorrentía desde sectores agrícolas o ganaderos en los meses de invierno.



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 34. Distribución temporal Nitrato (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11.**

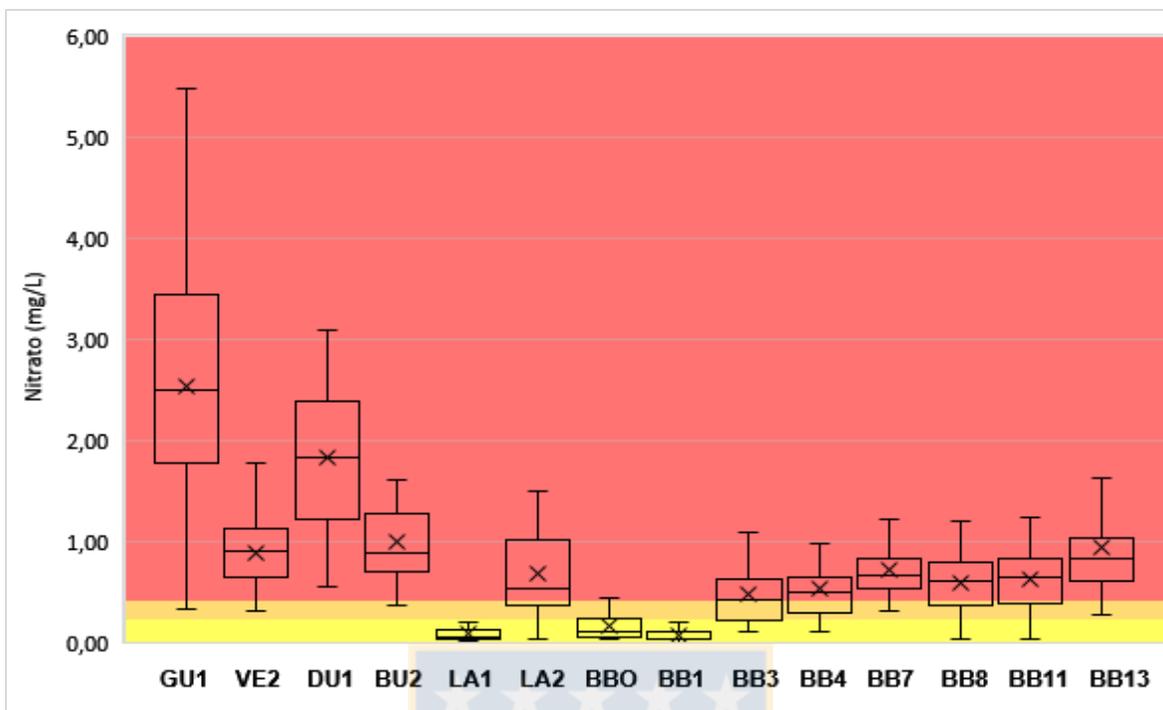


(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 35. Comparación niveles de Nitrato (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**

En la cuenca los valores de nitrato (mgN/L) son monitoreados desde 2001. Ninguna estación de la cuenca posee clase de calidad de agua excelente o buena (Figura 36). Se sugiere que su origen puede ser producto de la actividad agrícola y ganadera existente sobre todo en las subcuencas del río Guaqui y el Duqueco, por el empleo excesivo de fertilizantes nitrogenados y en menor medida el empleo de abonos orgánicos procedentes de la actividad ganadera.

Al respecto la principal brecha de información es el desconocimiento de los aportes de contaminación difusa como la agricultura y ganadería, lo que impide la toma de medidas preventivas y normas que regulen sus descargas.



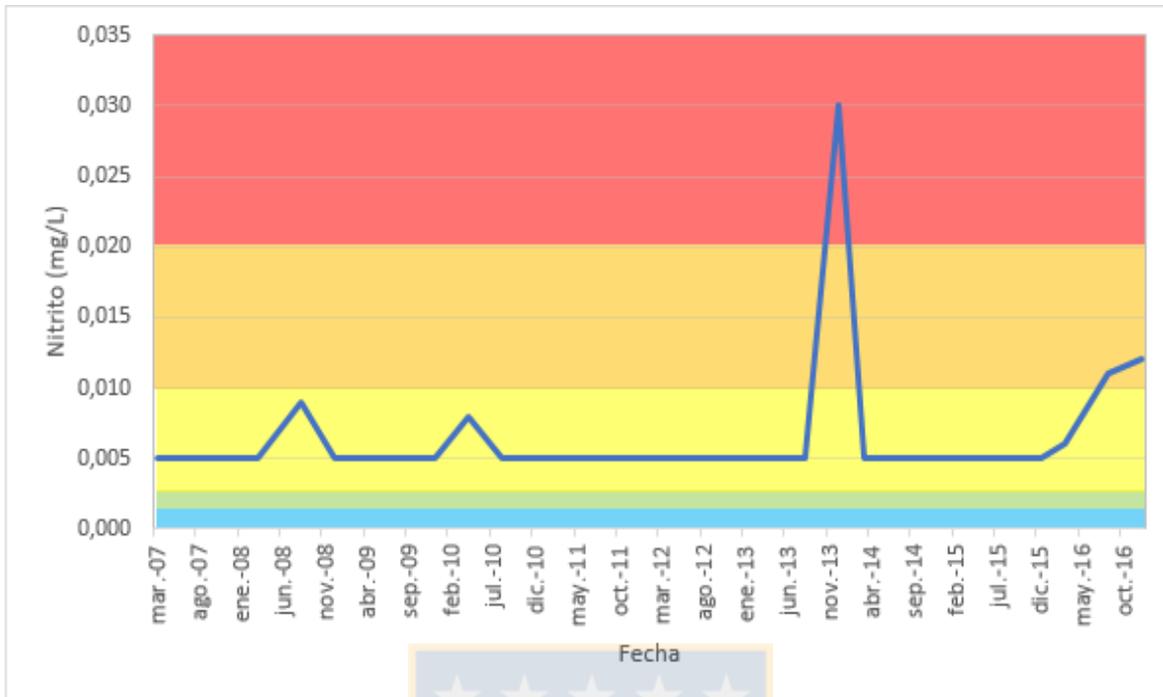
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 36. Distribución de datos monitoreo Nitrato (mg/L) desde 2007 a 2016.**

Los problemas de salud que acarrear altas concentraciones de nitrato y nitrito se relacionan respectivamente con la disminución de la glándula tiroidea y el bajo almacenamiento de vitamina A y con la formación de nitrosaminas, que son cancerígenas (Tuesca, 2015). La ingesta a largo plazo de nitrato elevado en el agua potable se asoció con un aumento del riesgo de cáncer de vejiga entre mujeres posmenopáusicas en Iowa (Jones *et al.*, 2016).

#### f. Nitrito (mg/L)

El nitrito al igual que el nitrato son iones que existen de manera natural y que forman parte del ciclo del nitrógeno (WHO, 2010). Los valores de nitrito en la estación BB11 se encuentran en clases de calidad regular con ciertos episodios en clase mala (Figura 37). Lo que se puede deber principalmente a la actividad agrícola.

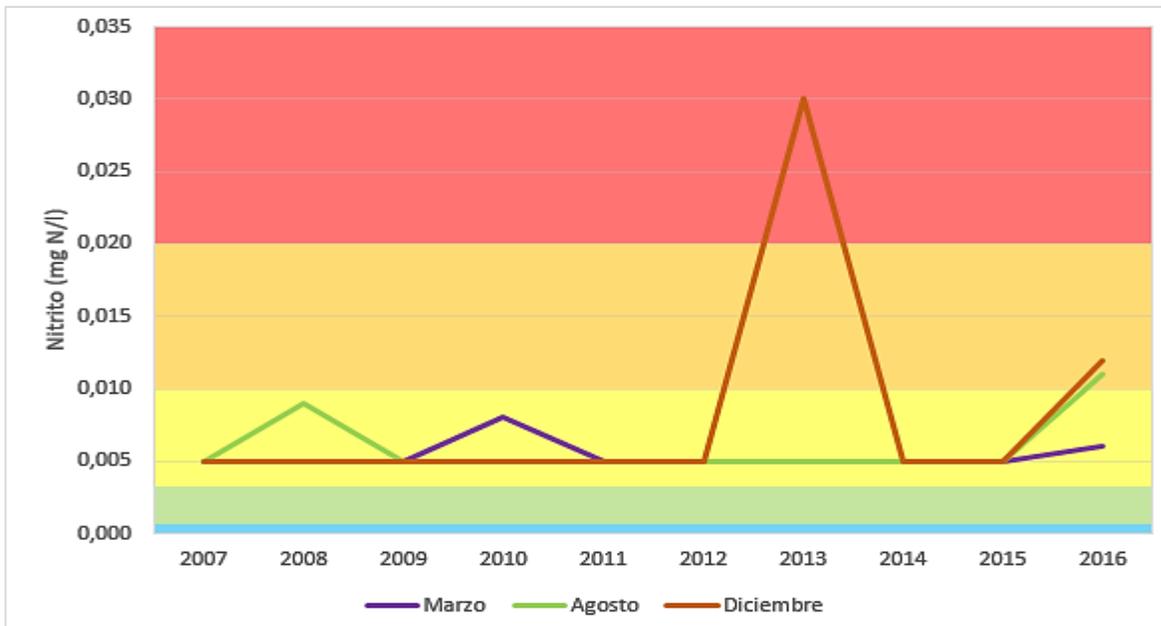


(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 37. Distribución temporal Nitrito (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11.**

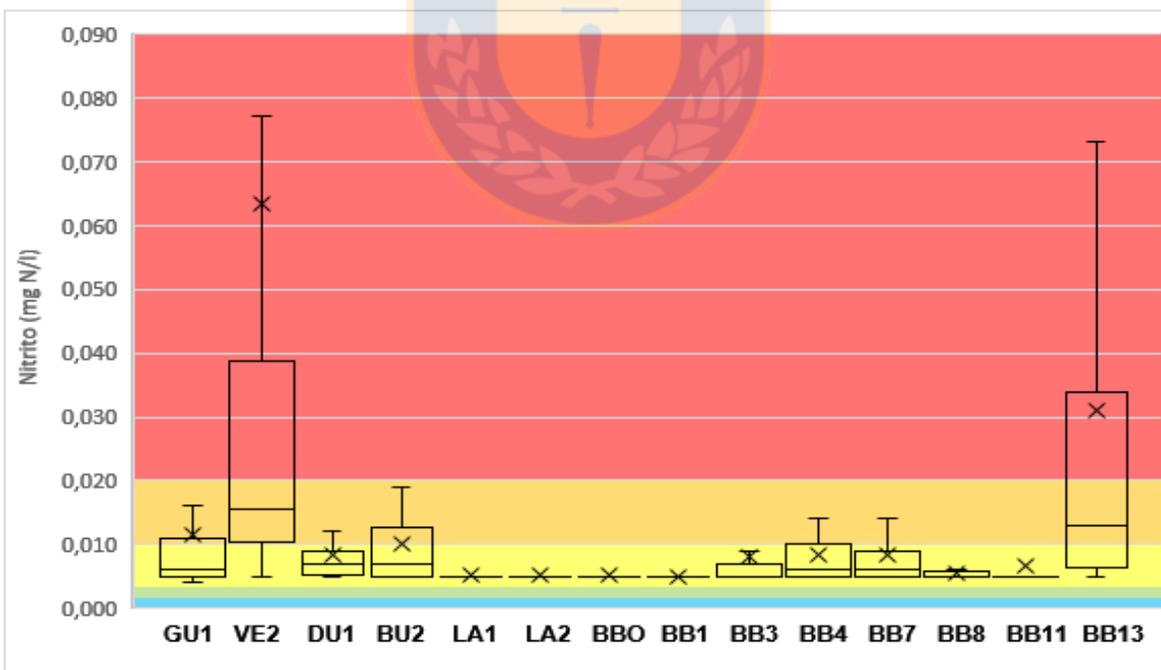
Respecto a los niveles de Nitrito en los distintos meses de muestreo no se observa un patrón de concentraciones, sino que permanecen variables a través de los años, con un peak identificado en diciembre del año 2013 (Figura 38).

Comparando los valores de BB11 con el resto de la cuenca la situación nos indica que la estación más cercana a la captación de la Mochita se encuentra dentro de las estaciones menos alteradas (Figura 39). Las estaciones que vuelven a presentar elevados niveles para Nitrito son VE2 y BB13. Para el primer caso la influencia podría estar dada por la gran actividad forestal y agrícola; y en el caso de BB13 puede deberse a una acumulación desde zonas más altas de la cuenca, y la amplia actividad industrial existente en la zona.



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 38. Comparación niveles de Nitrito (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 39. Distribución de datos monitoreo Nitrito (mg/L) desde 2007 a 2016.**

Lo nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro del organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosaminas de alto poder cancerígeno y tóxico (Rodríguez *et al.*, 2012). Para el caso del Nitrito, las estaciones concentran sus niveles en valores que sitúan la cuenca en clases de calidad regular, mala y muy mala (Figura 39).

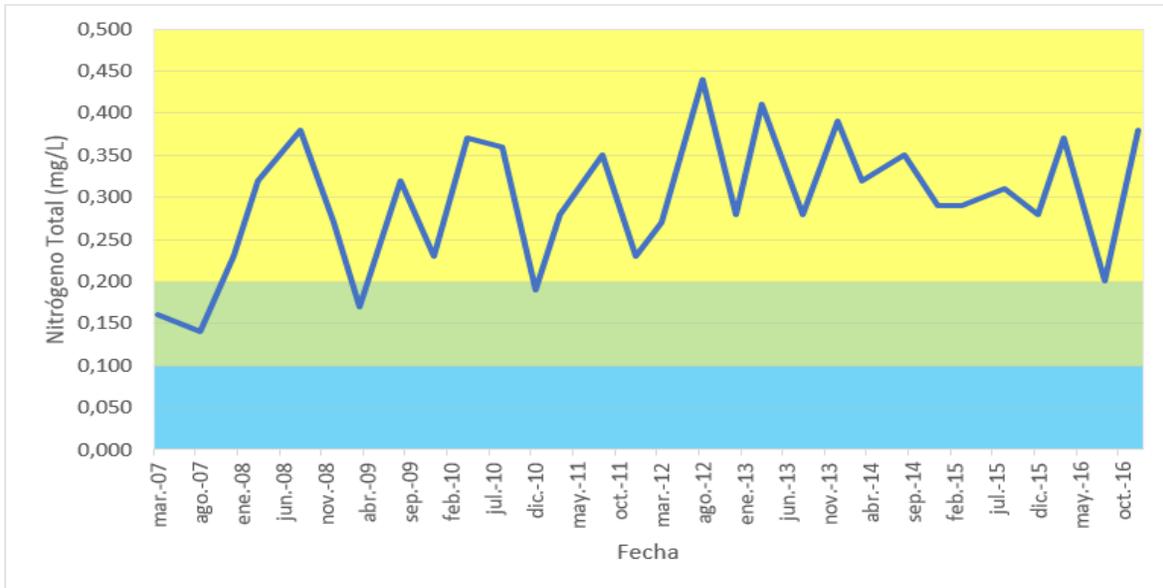
Para prevenir estos efectos adversos sobre la salud humana la OMS ha definido como valores límite del ion Nitrito 3mg/L; y 50mg/L de ion nitrato (0,9 mg/L de Nitrito-N; 11 mg/L de Nitrato-N respectivamente); la EPA de EEUU ha recomendado valores de 1 mgNO<sub>2</sub>-N/L y 10-11 mgNO<sub>3</sub>-N/L (Cárdenas y Sánchez, 2013). Si bien los valores encontrados en toda la cuenca respecto a nitrito y a nitrato están por debajo de las normativas internacionales de calidad de agua, los valores de la NSCA enfocada en el medio ambiente, son una buena forma de analizar preventivamente estos valores a lo largo de la cuenca.

#### **g. Nitrógeno Total (mg/L)**

El indicador Nitrógeno Total, corresponde a la relación entre la suma de los valores de nitratos, nitritos, nitrógeno orgánico y nitrógeno amoniacal muestreados en una estación y el número total de muestreos realizados en la misma. Todos los componentes individuales deben ser expresados como mg/L N.

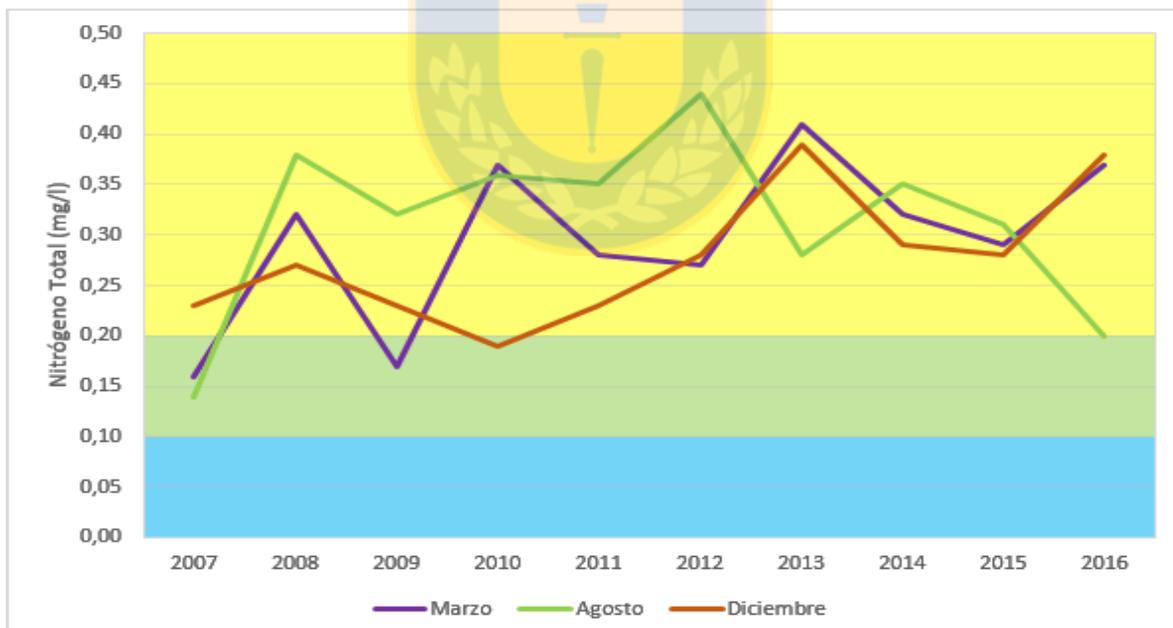
En la estación BB11 los niveles de Nitrógeno Total se encuentran mayoritariamente en clases de calidad regular (Figura 40). Para el periodo estudiado (2007-2016) las concentraciones de Nitrógeno Total (mg/L) no presentan grandes variaciones en los distintos meses de muestreo (Figura 41).

El nitrógeno es un indicador relevante en los estudios medioambientales, debido a la importancia que este tiene en los procesos de tratamiento, en el control de la calidad de las aguas y de las descargas de las aguas residuales al medio (Fernandez, 2015). La situación a nivel de cuenca presentada en la Figura 42 concuerda con los elevados niveles de otros nutrientes como el Nitrato (EULA, 2016). Al igual que el Fósforo, un exceso de Nitrógeno generará condiciones para el proceso de eutrofización de las aguas y condiciones que pueden generar un riesgo para la seguridad del agua potable.



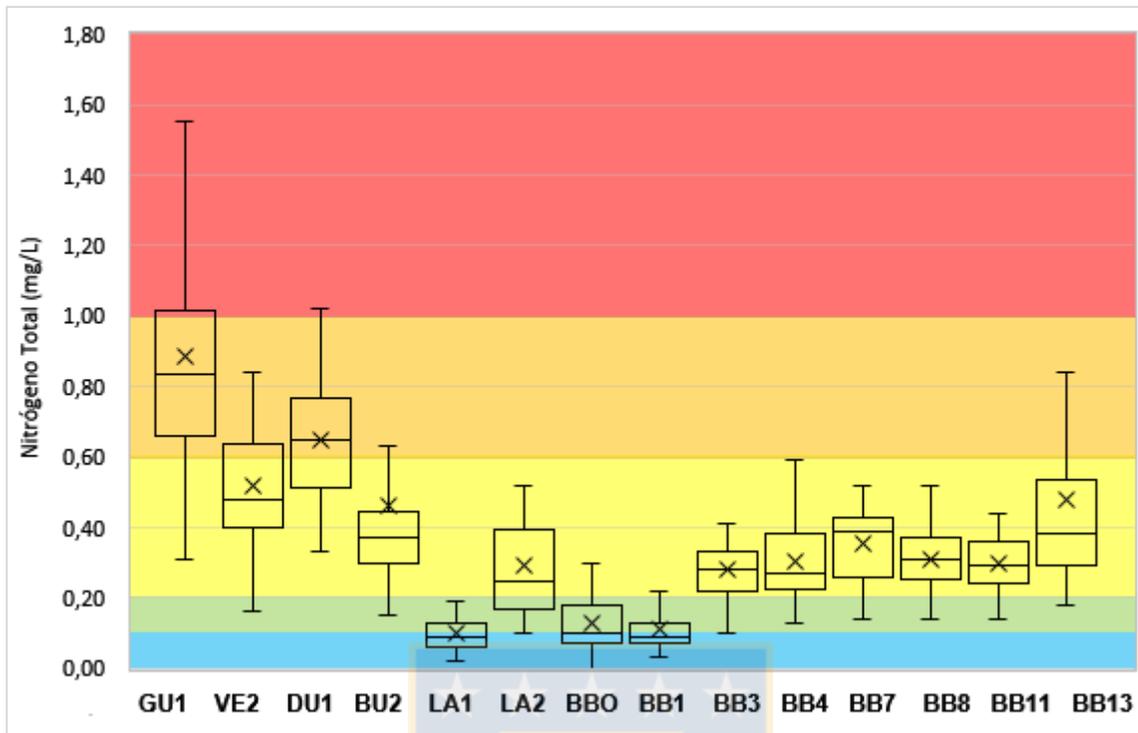
(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 40. Distribución temporal Nitrógeno Total (mg/L), periodo 2007-2016, estación BB11.**



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 41. Comparación niveles de Nitrógeno Total (mg/L) en meses de monitoreo por año (2007-2016).**



(Identificación de clases de Calidad de aguas. Azul: Excelente; Verde: Buena; Amarillo: Regular; Naranja: Malo; Rojo: Muy Malo)

**Figura 42. Distribución de datos monitoreo Nitrógeno Total (mg/L) desde 2007 a 2016.**

### 5.3 Resultados para el Objetivo específico 3: Identificar los peligros antrópicos existentes en la cuenca según la información disponible.

Los peligros se definen como agentes físicos, biológicos, químicos o radiológicos que pueden dañar la salud. Los eventos peligrosos se definen como eventos que introducen peligros (o impiden su eliminación) en el sistema de abastecimiento de agua (Bartram *et al.*, 2009). La identificación de eventos peligrosos y peligros antrópicos para la cuenca del río Biobío son presentados en la Tabla 15. Los eventos peligrosos fueron agrupados en Fuente de Peligro, por ejemplo, si el evento peligroso es lluvia torrencial, la fuente de peligro puede ser “Fenómenos meteorológicos y climáticos”, esto se realizó solo para no ser tan específicos en la identificación de eventos peligrosos.

Adicionalmente, en el Anexo 15 se resumen los principales peligros naturales identificados en la cuenca, solo a modo de ejercicio académico.

**Tabla 15. Resumen eventos peligrosos (fuentes de peligro) y peligros antrópicos identificados para la cuenca del río Biobío.**

(Bartram *et al.*, 2009)

<b>Fuente de Peligro</b>	<b>Peligros Asociados</b>
Actividad Agrícola	Contaminación Microbiológica; Química (Plaguicidas, Agroquímicos); Contaminación por Materia Orgánica
Actividad Ganadera	Contaminación Microbiológica; Química (Microcontaminantes); Contaminación por Materia Orgánica
Actividad Industrial	Contaminación Microbiológica; Contaminación Química (Microcontaminantes); Contaminación Física;
Actividad Forestal	Contaminación Química (Plaguicidas); erosión del suelo; fluctuación de caudales;
Actividad Hidroeléctrica	Contaminación microbiológica y florecimiento algal (toxinas); Eutrofización; Disminución de Caudales
Extracción de Áridos	Contaminación Física
Incendios Forestales	Precipitación de cenizas u otros elementos derivados del incendio, interrupción del suministro de agua potable por destrucción de instalaciones
Accidentes Ferroviarios	Contaminación Química, Pérdida de infraestructura, corte de suministro de agua potable.
Monitoreo deficiente	Contaminación Microbiológica; Química; Agua insuficiente
Desarrollo Urbano	Escorrentía e inundaciones en sectores de planicie
Pisicultura	Contaminación Química; Contaminación por materia orgánica; Contaminación Microbiológica
Fosas Sépticas	Contaminación Microbiológica; materia orgánica
Fuego/explosión	Inutilización total o parcial de las instalaciones de tratamiento, Contaminación Física,
Seguridad deficiente/vandalismo	Contaminación química, Física, corte de suministro, microbiológica
Demandas de agua para diversos usos	Cantidad insuficiente de Agua

## **5.4 Resultados para el Objetivo específico 4: Determinar las brechas de información para la implementación de un PSA en la cuenca del río Biobío.**

### **i. Actividad Agrícola**

A nivel mundial se ha estimado que la agricultura utiliza el 70% de todos los suministros hídricos superficiales, lo que presenta el principal factor de degradación de estos como consecuencia de la erosión y escorrentía química (Ongley, 1997).

Las actividades agrícolas incluyen normalmente la utilización de fertilizantes y plaguicidas que pueden alcanzar las aguas superficiales y subterráneas, por medio de contaminación difusa.

El uso de fertilizantes incide en los valores de fósforo y nitrógeno disponible en la superficie. En el caso del fósforo, este puede acumularse en suelos, exportarse hacia el agua por erosión o lixiviación (Carpenter *et al.*, 1998). Por otro lado, las pérdidas de nitrógeno (en forma de nitrato) desde áreas agrícolas son mayores que en ecosistemas sin intervención (Gardi, 2001).

La agricultura consume hasta el 85% de la producción mundial de plaguicidas, con el fin de mantener un control sobre las plagas que afectan los cultivos (del Puerto Rodríguez *et al.*, 2014); lo cual ocasiona la contaminación del ambiente y actúa negativamente sobre el ser humano y otros organismos del ecosistema, originando problemas de salud pública y deterioro ambiental (Plenge-Tellechea *et al.*, 2007). Como ya se analizó en el objetivo 2, la utilización indiscriminada de plaguicidas puede aumentar los niveles de nutrientes y contaminantes como el AOX.

Se sabe que el manejo, uso y comercio de plaguicidas y fertilizantes está regulado por el SAG (SAG, 2017); por lo tanto, se conoce un listado de plaguicidas autorizados y prohibidos, pero la principal brecha de información al respecto corresponde a la inexistencia de un catastro público que indique los tipos y cantidades de plaguicidas y fertilizantes que son utilizados por predio, lo que puede ser un problema al intentar analizar la movilidad a lo largo de la cuenca.

Las actividades agrícolas no solo afectan la calidad de agua disponible en una cuenca, sino también la cantidad, por el uso extractivo que realizan diversas obras para uso agrícola; por lo cual es importante contar con una actualización al existente

censo agrícola 2007 y por último contar con un catastro público detallado de extracciones (riego) para esta actividad en la cuenca.

## ii. Actividad Ganadera

En países desarrollados se ha demostrado que existe una fuerte relación causa-efecto entre la actividad ganadera y la contaminación difusa de cursos de agua superficial, en especial de su eutrofización por altas concentraciones de Nitrógeno y Fósforo (Alfaro y Salazar, 2005); y su contaminación biológica con patógenos (Freitas y Burr, 1996).

La brecha de información en la actividad Ganadera al igual que en la actividad agrícola, corresponde a la falta de información actualizada del sector agropecuario, ya que el último censo realizado para este rubro fue el año 2007 (Tabla 16).

**Tabla 16. Resumen de las comunas con mayor superficie utilizada en actividad agrícola-ganadera, correspondiente al censo agropecuario y forestal 2007.**  
(INE, 2017)

Comuna	Agricultura	Ganadería			
	Explotaciones	Explotaciones	Cabezas de ganado por especie		
	Superficie (ha)	Superficie (ha)	Bovinos	Ovinos	Cerdos
Mulchén	87.515,10	56.720,30	28.603	5.494	2.802
Santa Bárbara	91.126,60	82.372,80	15.353	9.552	2.263
Los Ángeles	120.432,71	87.559,95	87.107	3.640	5.272
Alto Biobío	161.659,68	88.149,18	7.781	8.137	1.743
Lonquimay	262.119,27	187.988,66	23.897	18.965	1.213

Los principales contaminantes de la ganadería son los desechos animales, antibióticos y hormonas (Ledesma *et al.*, 2002). El SAG posee un registro de los antibióticos y hormonas comercializadas y utilizadas en el país, pero no hay

disponibilidad de un catastro público que indique las cantidades utilizadas por predio y que sea específico para cada territorio en la cuenca. Este desconocimiento impide tener un control de la frecuencia, tipo y carga másica arrastrada a distintos cauces de la cuenca, impidiendo tener medidas preventivas.

Otra de las importantes brechas de información respecto al sector agrícola ganadero, el cálculo estimativo de los aportes reales de las actividades que generan contaminación difusa en la cuenca.

### **iii. Actividad Industrial**

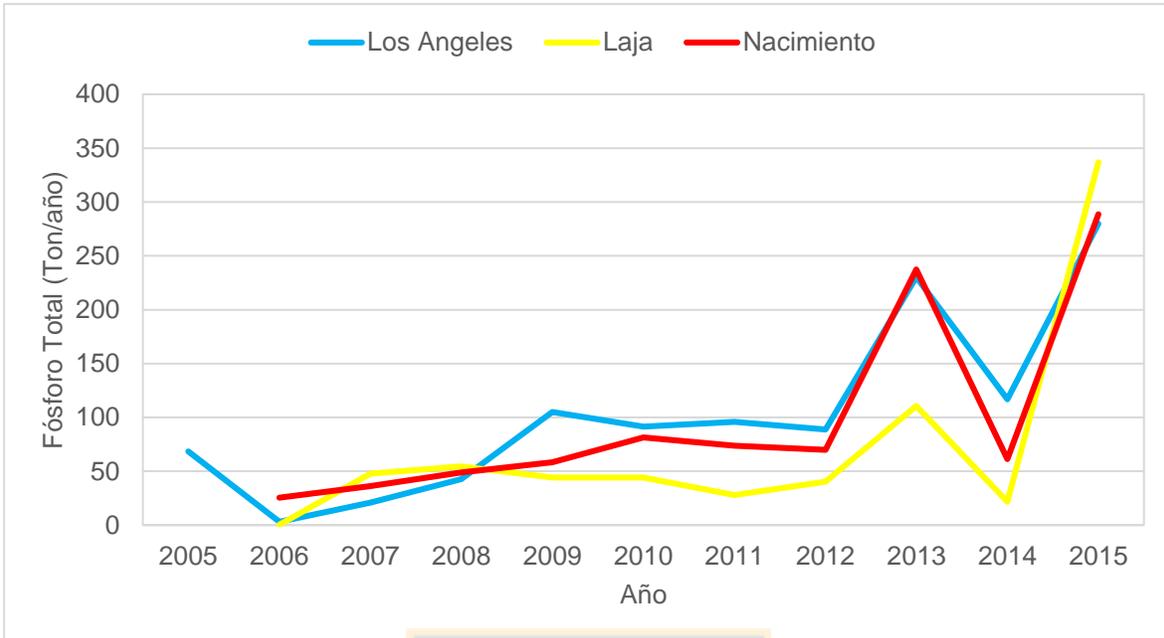
Para estudiar las brechas de información respecto a RILES, se realizó un análisis de datos en el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC), en donde se filtraron los datos de descarga de nutrientes, Fósforo Total (ton/año) y Nitrógeno Kjeldahl (ton/año) por comuna. A continuación, se presentan los resultados de las comunas con mayores niveles de estos nutrientes:

#### **– Aporte de Fósforo Total Nitrógeno Kjeldahl a la cuenca del río Biobío por Fuentes Puntuales**

Las comunas de la cuenca con mayores niveles de Fósforo Total (ton/año) corresponden a Los Ángeles, Nacimiento, Laja. En los 3 casos, el patrón de concentraciones de Fósforo Total es similar, con un alza notoria los años 2013 y 2015.

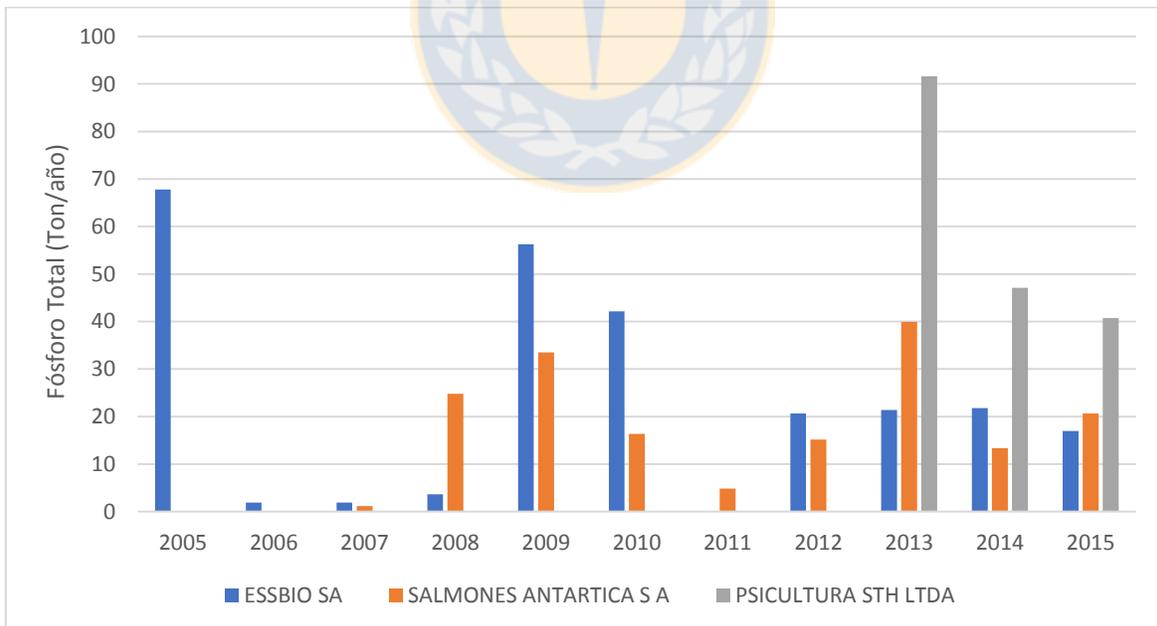
A modo de ejemplo, se tomó el caso de la comuna de Los Ángeles y Laja, con el fin de verificar la procedencia de los aportes de nutrientes desde fuentes puntuales (Figura 43). En el caso de los Ángeles, las fuentes que generan mayor aporte de Fósforo Total son el rubro sanitario (ESSBIO S.A), y el rubro de acuicultura, representado por Psicultura STH LTDA y Salmones Antártica S.A (Figura 44).

En el caso de Laja, las fuentes que generan mayor aporte de Fósforo Total son CMPC Celulosa y en menor cantidad ESSBIO S.A (Figura 45).



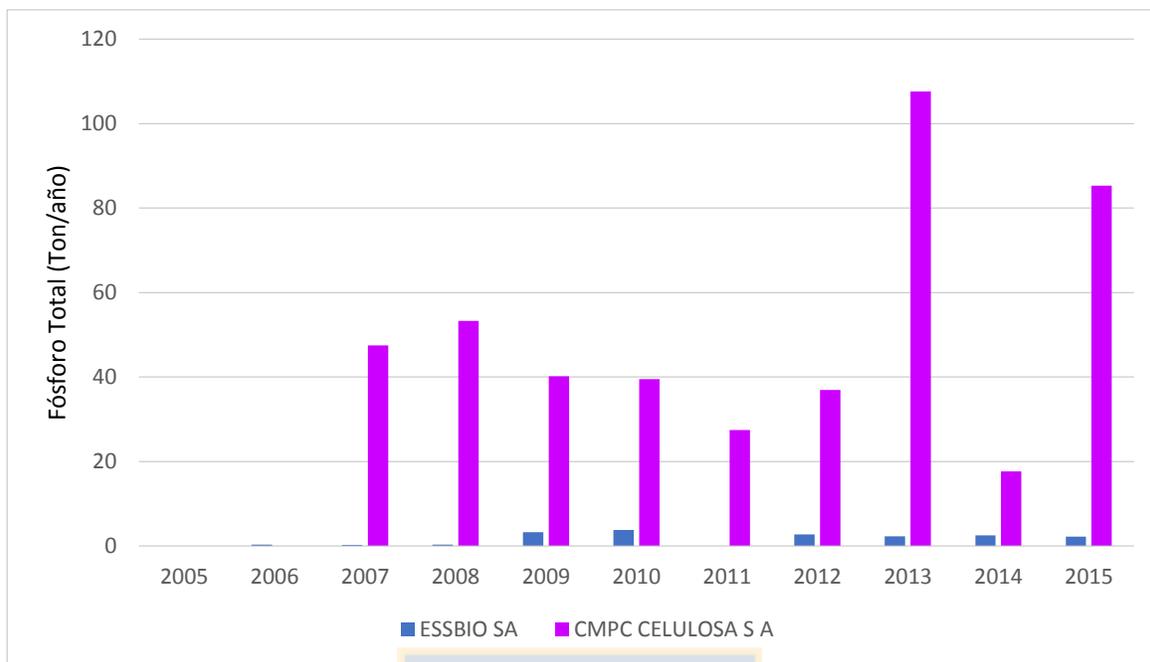
**Figura 43. Comparación de niveles de Fósforo Total aportados por comunas pertenecientes a la cuenca del río Biobío.**

(RETC, 2017)



**Figura 44. Empresas de mayor aporte Fósforo Total (ton/año) en la Comuna de Los Ángeles.**

(RETC, 2017)



**Figura 45. Empresas de mayor aporte Fósforo Total (ton/año) en la Comuna de Laja.**

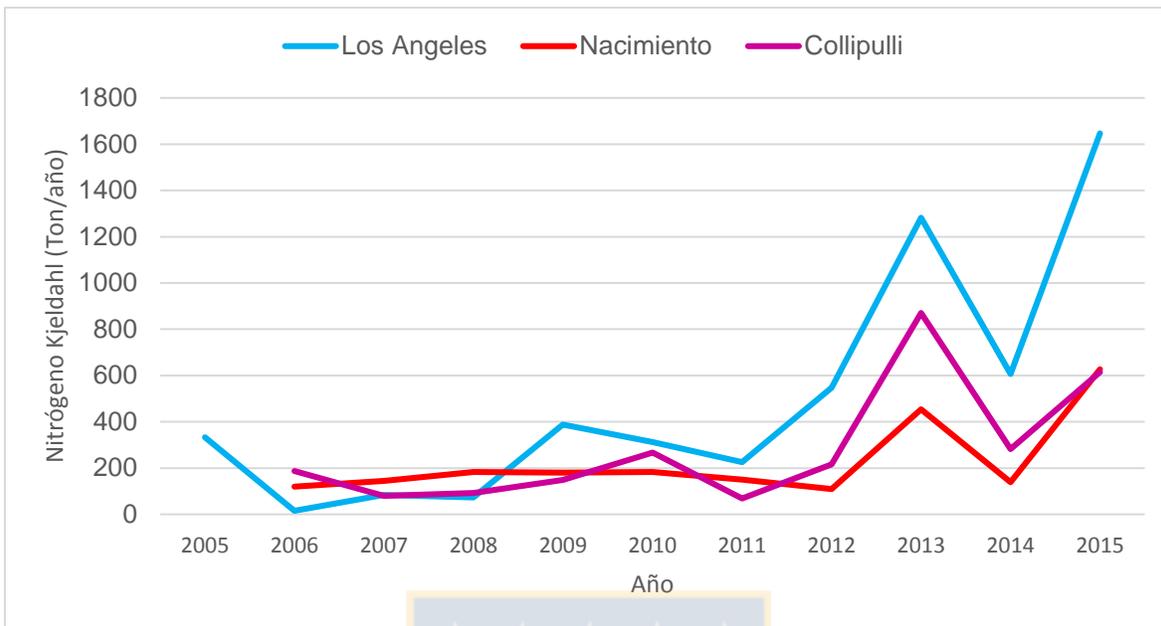
(RETC, 2017)

– **Aporte de Nitrógeno Kjeldahl a la cuenca del río Biobío por Fuentes Puntuales**

El nitrógeno total Kjeldahl es un indicador utilizado en química analítica cuantitativa. Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico, amoniacal, nitritos y nitratos, entre otros (Fernandez, 2015).

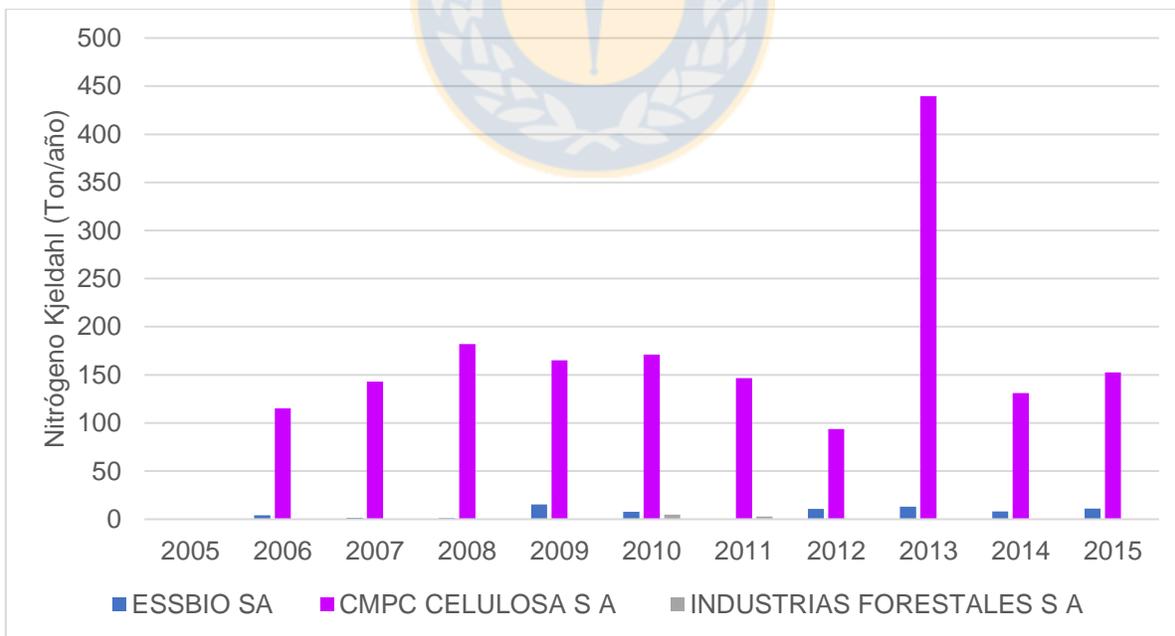
Las comunas con mayores concentraciones de Nitrógeno Kjeldahl se registran en Los Ángeles, Collipulli y Nacimiento (Figura 46).

A modo de ejemplo, se tomó el caso de la comuna de Nacimiento y Collipulli, con el fin de verificar la procedencia de los aportes de nutrientes desde fuentes puntuales (Figura 47 y 48). En ambos casos se repiten los rubros de las fuentes puntuales que más aportan a los niveles de Nitrógeno Kjeldahl, en el caso de Nacimiento y Collipulli, en donde destaca la presencia del sector celulosa (CMPC S.A) y del sector sanitario en menor medida (ESSBIO y Aguas Araucanía).



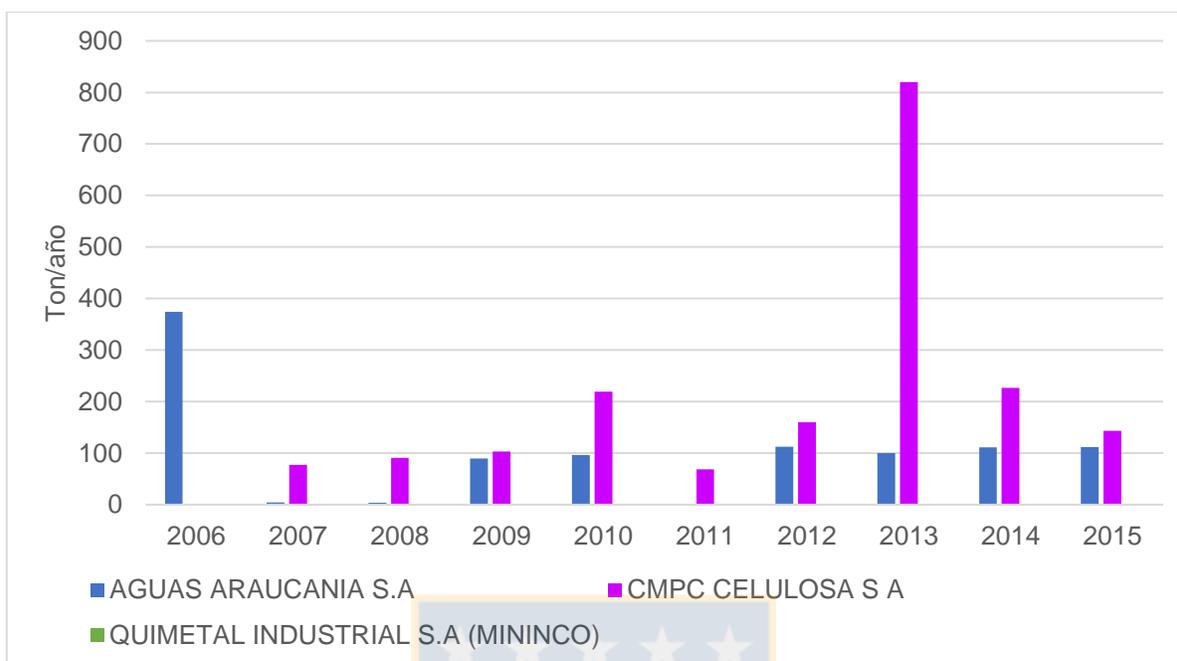
**Figura 46. Comparación de niveles de Nitrógeno Kjeldahl aportados por comunas pertenecientes a la cuenca del río Biobío.**

(RETC, 2017)



**Figura 47. Empresas de mayor aporte Nitrógeno Kjeldahl (ton/año) en la Comuna de Nacimiento.**

(RETC, 2017)



**Figura 48. Empresas de mayor aporte Nitrógeno Kjeldahl (ton/año) en la Comuna de Collipulli.**

(RETC, 2017)

Finalmente, podemos mencionar que las principales brechas de información en cuanto a RILES de fuentes puntuales están en el RETC a la fecha de este estudio, esto debido a que este catastro público aún no se encuentra con todos los valores validados y ordenados correctamente por categoría, lo que dificulta el estudio de descargas por efluentes industriales en la cuenca.

#### iv. Actividad Hidroeléctrica

La construcción de un embalse genera la transformación de un ecosistema lótico en uno léntico, lo cual conlleva una reducción en la tasa de renovación y el flujo de agua (Roldan y Ramírez, 1992).

Otro problema que puede ocurrir es la eutrofización, que corresponde al enriquecimiento en nutrientes de las aguas, que provoca la estimulación de una serie de cambios sintomáticos, entre los que se encuentra el incremento en

producción de algas y macrófitas, el deterioro de la calidad de agua y otros cambios sintomáticos resultan indeseables e interfieren con la utilización del agua” (OCDE, 1982).

La principal brecha en el ámbito de embalses y actividad hidroeléctrica es que no se realiza un seguimiento de nutrientes en estaciones aguas arriba y aguas abajo de embalses como el Ralco o Pangue, lo cual impide ejecutar de manera preventiva algún plan que controle el florecimiento algal.

Otro aspecto muy relevante de resaltar es la situación de exposición de parte de la infraestructura energética a peligros naturales: remoción en masa, inundación fluvial, Tsunamis y actividad volcánica.

#### **v. Accidentes Ferroviarios**

Los accidentes ferroviarios si bien son un hecho aislado, generan un peligro ya que como ocurrió en el caso de la caída de un tren de carga al río Toltén; en donde seis de los carros que cayeron al río, contenían material químico: clorato, petróleo y soda caustica. Para el caso de Concepción y sus alrededores, la línea férrea se encuentra bordeando el río Biobío, lo que nos lleva a incluirlo como un peligro para la Planta “La Mochita”, ya que, si ocurre un volcamiento o accidente y cae un tren aguas arriba de la planta, podría influir directamente en la calidad de agua captada.

La información disponible que existe sobre transporte ferroviario solo nos indica los principales productos transportados por la empresa de ferrocarriles del estado: Celulosa de exportación, compuestos químicos; concentrados de cobre; cobre metálico; residuos sólidos (basura domiciliaria); granos diversos; cemento a granel. La principal brecha de información al respecto es que no existe un catastro del ministerio de transporte de las toneladas año ni la cantidad por producto que son transportadas por región.

#### **vi. Piscicultura**

Como se observa en el Anexo 8, dentro de las empresas existentes 13 plantas que descargan en distintos puntos de la cuenca RILES. Actualmente existe un registro público en la página del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de los proyectos

ingresados y con trámite de DIA o EIA Finalizados para la cada región del país (21 proyectos ingresados desde 2011 a 2017), pero no es posible saber en una búsqueda simple los que pertenecen a la cuenca del río Biobío.

De acuerdo con los resultados obtenidos del RETC el aporte que realizan estas empresas respecto a nutrientes es importante (Figura 44). Esto puede provocarse ya que del total de alimento que es suministrado para la producción de salmones cerca de un 25% de los nutrientes son asimilados por éstos, mientras que un 75% aproximadamente queda en el ambiente de una u otra forma. Parte importante se iría al fondo y el otro porcentaje queda en la columna de agua (Buschmann, 2001). Adicionalmente, el uso de químicos para combatir parásitos, hongos y bacterias también produce residuos que permanecen en el ambiente y tienen diversos efectos sobre la biota (Hormonas, antibióticos, entre otros), de los cuales tampoco se cuenta con un registro público. Por todo lo ya señalado se plantea la necesidad de contar con más información al respecto.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de contar con más información al respecto, para poder tomar medidas preventivas que ayuden a la disminución de tales parámetros en el río.

#### **vii. Monitoreo en la cuenca**

A continuación, se resumen las principales brechas de información respecto al monitoreo público en la cuenca:

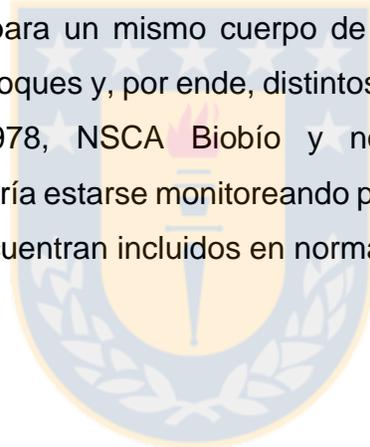
Estaciones Fluviométricas: Discontinuidad de datos de caudal en diversos sectores de la cuenca. Esto podría ser un problema al momento de otorgar nuevos derechos de agua en la cuenca; ya que no se sabe con certeza los cambios que ocurren a lo largo de los años y la cantidad de agua existente en la cuenca.

Estaciones de Calidad de Aguas: De acuerdo con el análisis efectuado en la base de datos de la DGA, es necesaria una mayor continuidad en el monitoreo efectivo de parámetros como nutrientes, Coliformes, turbidez; ya que el actual monitoreo

impide una correcta evaluación temporal e histórica de parámetros en una misma estación.

Además, cabe señalar que de los 49 parámetros muestreados por la DGA, solo la conductividad específica y el pH son reportados en todas las estaciones. El desconocimiento del estado del resto de los parámetros en la cuenca impide una evaluación y toma de medidas preventivas de contaminantes que pueden causar problemas al ecosistema y a la salud humana.

Finalmente, otra brecha de información respecto a estaciones de calidad indica que No se miden sustancias orgánicas, plaguicidas, productos secundarios de desinfección, sólidos disueltos totales o el color verdadero; los cuales si se regulan en la normativa nacional. Este no es solo un problema a nivel de la DGA, sino más bien a nivel país, ya que para un mismo cuerpo de agua nos encontramos con normativas con distintos enfoques y, por ende, distintos parámetros normados (NCh 409.1/2005, NCh 1333/1978, NSCA Biobío y normativa de descarga del DS90/2001), con lo cual podría estarse monitoreando parámetros de más y pasando por alto otros que no se encuentran incluidos en normativas de calidad de agua.



## 6. CONCLUSIÓN

Al analizar la institucionalidad existente en Chile respecto a la gestión de los recursos hídricos y en base a los Planes de Seguridad de Agua, notamos que las decisiones y funciones de cada organismo involucrado muchas veces obstaculizan la rapidez en la toma de decisiones, por lo cual se sugiere que es necesario incorporar de manera efectiva el concepto de Gestión Integrada de Cuenca y replantear las funciones ministeriales en temas de recursos hídricos, con el fin de fortalecer instituciones como la Dirección General de Aguas, ya que la actual planificación se reduce a la determinación de la disponibilidad de agua (con escasa información tanto de oferta como de usos), con el fin de otorgar nuevos derechos y declarar zonas de restricción o prohibición.

Las clases de calidad de agua propuesta por el MMA nos ayudan a tener un panorama global de los principales problemas de calidad que afectan a la captación y a la cuenca del río Biobío en general. Según el análisis histórico realizado con la información de calidad de aguas del Programa de Monitoreo del río Biobío, se concluyó que los principales parámetros en la estación más cercana a la captación de la Mochita que se deben vigilar son AOX, Coliformes Fecales, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno y Fósforo principalmente. Esta situación se repite al analizar la situación de los parámetros en distintas estaciones del curso principal del río Biobío y subcuencas como Vergara, Guaqui y Duqueco.

Las principales brechas de información existentes para la cuenca del río Biobío y que impiden una descripción detallada del sistema se centran en la información limitada sobre disponibilidad de aguas superficiales, usos principales por sector y usuarios; y además, existe una importante deficiencia en términos de datos en las estaciones de monitoreo presentes en la cuenca, esto se da sobre todo en el caso de estaciones de calidad de agua de la DGA, en todos los parámetros discutidos en la estación BB11.

Como ya se mencionó los objetivos de un Plan de seguridad incluyen minimizar la vulnerabilidad y la contaminación del agua en fuentes de abastecimiento. En el caso de estudio de la cuenca del río Biobío, las brechas de información actualmente

impiden el análisis profundo de los peligros, ya que no es posible una total identificación de todos los posibles focos de contaminación actualizados existentes en la cuenca de captación; por lo cual se recomienda insistir en la actualización y continuidad de datos en instituciones como la DGA; incorporar en todas sus estaciones de manera efectiva el monitoreo de parámetros microbiológicos, y relativos a materia orgánica; los cuales hoy en día son un peligro para la calidad de agua en la cuenca. Es importante también, que se revise las brechas de información del registro de transferencia de emisiones y contaminantes (MMA), y que para la cuenca del río Biobío pueda incluir parámetros como Coliformes Fecales y DBO. Según lo mencionado en literatura y en el presente estudio se recomienda ampliar las investigaciones en parámetros como el AOX (mg/L), para poder en un futuro incluirlo dentro de normativas nacionales.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, M., & Sreekrishnan, T. R. (2001). Aquatic toxicity from pulp and paper mill effluents: a review. *Advances in environmental research*, 5(2), 175-196.
- Alfaro, M., & Salazar, F. (2005). Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. *Agricultura Técnica*, 65(3), 330-340.
- Altmann, P., Cunningham, J., Dhanesha, U., Ballard, M., Thompson, J., & Marsh, F. (1999). Disturbance of cerebral function in people exposed to drinking water contaminated with aluminium sulphate: retrospective study of the Camelford water incident. *Bmj*, 319(7213), 807-811.

Arcos, M.; Ávila, S; Estupiñan, S & Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Revista Nova*, 3: 69-79

ASCC, 2018; Agencia para la sustentabilidad y Cambio Climático. Recuperado de <http://www.agenciasustentabilidad.cl/>

- Aumassanne, C., & Fontanella, D. (2015). Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. 182pp.
- 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. 78pp.

Bartram J., Corrales L., Davison A., Deere D., Drury D., Gordon B., Howard G., Rinehold A. & Stevens M. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. Metodología pormenorizada de gestión de riesgos para proveedores de agua de consumo. Organización Mundial de la Salud (OMS): Ginebra, Suiza. 116 pp.

Barzola, C., Lazcano, C., Ponce, M., & León, J. (2003). Colifagos como indicadores de contaminación fecal y de remoción bacteriana en la potabilización del agua. *Revista Peruana de Biología*, 10(2), 133-144.

- Baum, R., Amjad, U., Luh, J., & Bartram, J. (2015). An examination of the potential added value of water safety plans to the United States national drinking water legislation. *International journal of hygiene and environmental health*, 218(8), 677-685.
- Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura. El estado de la investigación en Chile y el mundo*. Terram Publicaciones. 67 pp.
- Byleveld, P. M., Deere, D., & Davison, A. (2008). Water safety plans: planning for adverse events and communicating with consumers. *Journal of water and health*, 6(S1), 1-9.
- Cárdenas, G., & Sánchez I. (2013). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Universidad y Salud*, 15(1), 72-88.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3), 559-568.
- Chambers, P. A., R. Kent, M. N. Charlton, M. Guy, C. Gagnon, E. Roberts, E. Grove, and N. Foster. (2001). *Nutrients and their impact on the Canadian environment*. Environment Canada. 241 pp.
- Chamorro, S., Hernández, V., Matamoros, V., Domínguez, C., Becerra, J., Vidal, G., & Bayona, J. M. (2013). Chemical characterization of organic microcontaminant sources and biological effects in riverine sediments impacted by urban sewage and pulp mill discharges. *Chemosphere*, 90(2), 611-619.
- Chaparro, T. R., & Pires, E. C. (2011). Anaerobic treatment of cellulose bleach plant wastewater: chlorinated organics and genotoxicity removal. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(4), 625-638.
- Cherif, S., Fradj, R. B., & Jrad, A. (2006). Quality of treated wastewater: method validation of AOX. *Accreditation and quality assurance*, 11(12), 632-637.
- Chiang, G., Munkittrick, K. R., Orrego, R., & Barra, R. (2010). *Monitoring of the Environmental Effects of Pulp Mill Discharges in Chilean Rivers: Lessons*

Learned and Challenges. *Water Quality Research Journal of Canada* (Canadian Association on Water Quality), 45(2).

- Cho, H. B., Lee, S. H., Cho, J. C., & Kim, S. J. (2000). Detection of adenoviruses and enteroviruses in tap water and river water by reverse transcription multiplex PCR. *Canadian journal of microbiology*, 46(5), 417-424.
- Dann, A. B., & Hontela, A. (2011). Triclosan: environmental exposure, toxicity and mechanisms of action. *Journal of Applied Toxicology*, 31(4), 285-311.
- Davison, A., & Deere, D. (2007). Water Safety Plan Workbook for drinking-water: materials for training of trainer. In *Water Safety Plan Workbook for drinking-water: materials for training of trainer*. 45pp.
- Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., Deere, D. & World Health Organization. (2005). *Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer*. 235pp.
- Delgado, I. F., Barretto, H. H., Kussumi, T. A., Alleluia, I. B., Baggio, C. D. A., & Paumgarten, F. J. R. (2002). Serum levels of organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls among inhabitants of Greater Metropolitan Rio de Janeiro, Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, 18(2), 519-524.
- Del Puerto Rodríguez, A. M., Suárez Tamayo, S., & Palacio Estrada, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.

Devynck, J. (1970). *Contribución al conocimiento de la circulación atmosférica en Chile y al clima de la región del Biobío*, Universidad de Concepción. 165 pp.

- DGA. (2017). Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea. Recuperado de <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes>
- DGA. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Biobío*. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile. 179pp.

- Duarte, A. C. E., Rörig, L. R., Amaral, M. D., Vieira, M. G., & Dadam, L. (2009). Compostos organo-halogenados adsorvíveis (AOX) na água de abastecimento público dos municípios de Itajaí e Navegantes-SC. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 13(1), 11-17.
- Dyck, A., Exner, M., & Kramer, A. (2007). Experimental based experiences with the introduction of a water safety plan for a multi-located university clinic and its efficacy according to WHO recommendations. *BMC Public Health*, 7(1), 34.

ESSBIO. (2014). Planta La Mochita. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de: <https://www.concepcion.cl/wp-content/uploads/2013/12/6.-Presentacion-ESSBIO.pdf>

- EULA. (2016). Informe final monitoreo para la vigilancia de la norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río Biobío. 181pp.
- Eula, (2016 b.) Informe Final Diagnostico Energético Prospectivo y Plan de Acción 2016-2020 para la región del Biobío. 543pp.
- Fernández Callejas, M. A. (2012). Estudio del grado de alteración hidrológica intradiaria por operaciones de las centrales hidroeléctricas de embalse Ralco y Pangue del sistema interconectado central. 85pp.
- Fernández A., Molina M., Álvarez A., Alcántara M. Y Espigares A. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 1: 8-24.
- Fernández. (2015). Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile. Universidad de Chile. 120pp.
- Freitas, R. J., & Burr, M. D. (1996). *Animal wastes. Pollution Science*, Academic Press, New York, USA, 237-251.
- Funari, E., & Testai, E. (2008). Human health risk assessment related to cyanotoxins exposure. *Critical reviews in toxicology*, 38(2), 97-125.
- Gardi, C. (2001). Land use, agronomic management and water quality in a small Northern Italian watershed. *Agriculture, ecosystems & environment*, 87(1), 1-12.

- Gelting, R. J., Delea, K., & Medlin, E. (2012). A conceptual framework to evaluate the outcomes and impacts of water safety plans. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 2(2), 103-111.
- Godfrey, S., & Howard, G. (2004). *Water Safety Plans (WSP) for urban piped water supplies in developing countries*. WEDC, Loughborough University, UK. 101pp.
- Godfrey, S., Chand, C. P., Anwar, M., & Rao, C. V. (2005). Water-safety plans for piped supplies with limited data—a case study from India. *waterlines*, 23(4), 19-21.
- Grabow, W. O. K. (2001). Bacteriophages: update on application as models for viruses in water. *Water Sa*, 27(2), 251-268.
- Gregor, J., & Winstanley, A. (2006). Considering policy implementation alongside policy formulation in drinking water management in New Zealand and for Pacific Islands. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2006(12), 1404-1417.
- Gunnarsdóttir, M. J., & Gissurason, L. R. (2008). HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: preliminary evaluation of experience. *Journal of water and health*, 6(3), 377-382.
- Gunnarsdóttir, M. J., Gardarsson, S. M., & Bartram, J. (2012). Icelandic experience with water safety plans. *Water science and technology*, 65(2), 277-288.
- Gunnarsdottir, M. J., Gardarsson, S. M., Elliott, M., Sigmundsdottir, G., & Bartram, J. (2012). Benefits of water safety plans: microbiology, compliance, and public health. *Environmental science & technology*, 46(14), 7782-7789.
- Hot, D., Legeay, O., Jacques, J., Gantzer, C., Caudrelier, Y., Guyard, K. & Andreoletti, L. (2003). Detection of somatic phages, infectious enteroviruses and enterovirus genomes as indicators of human enteric viral pollution in surface water. *Water Research*, 37(19), 4703-4710.
- Hrudéy, S. E., & Hrudéy, E. J. (2004). *Safe drinking water*. IWA publishing.

- Hunter, M. A. (1992). Hydropower flow fluctuations and salmonids: a review of the biological effects, mechanical causes and options for mitigation. Department of Fish and Wildlife. 58pp.
- INE (2017). Censo Agropecuario y Forestal 2007. Recuperado el 18 de agosto de 2017 de <http://www.ine.cl/estadisticas/censos/censo-agropecuario-y-forestal-2007>
  
- INN. (2000). NCh 777/2 Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 2: captación de aguas subterráneas. Recuperado el 25 de junio de 2017 de [https://www.academia.edu/15286742/NCH\\_777\\_parte\\_2](https://www.academia.edu/15286742/NCH_777_parte_2)
- INN. (2008). NCh 777/1 Agua potable - Fuentes de abastecimiento y obras de captación - Parte 1: captación de aguas superficiales. Recuperado de 25 de junio de 2017 [http://www.siss.gob.cl/577/articles-6083\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-6083_recurso_1.pdf)
  
- Jones, R. R., Weyer, P. J., DellaValle, C. T., Inoue-Choi, M., Anderson, K. E., Cantor, K. P., ... & Ward, M. H. (2016). Nitrate from drinking water and diet and bladder cancer among postmenopausal women in Iowa. *Environmental health perspectives*, 124(11), 1751.
- Kot, M., Castleden, H., & Gagnon, G. A. (2014). The human dimension of water safety plans: a critical review of literature and information gaps. *Environmental Reviews*, 23(1), 24-29.
- Ledesma, L. M., Gallego, L. A., & Peláez, F. J. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 213-225.
- Lictévout, E., Maass, C., Córdoba, D., Herrera, V., Payano, R., Rodríguez, J., Aguilera, J. (2013). Gestión de la información hídrica en zona árida: caso de la Región de Tarapacá, Norte de Chile. *Aqua-LAC*, 5(2), 69-77.
- Lindhe, A. (2010). Risk assessment and decision support for managing drinking water systems. Chalmers University of Technology. 108pp.
- Longnecker, M. P., Rogan, W. J., & Lucier, G. (1997). The human health effects of DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) and PCBS (polychlorinated

biphenyls) and an overview of organochlorines in public health. Annual review of public health, 18(1), 211-244.

- Mahmud, S. G., Shamsuddin, S. A. J., Ahmed, M. F., Davison, A., Deere, D., & Howard, G. (2007). Development and implementation of water safety plans for small water supplies in Bangladesh: benefits and lessons learned. Journal of water and health, 5(4), 585-597.
- Mayr, E., Lukas, A., Aichseder, W., & Perfler, R. (2012). Experiences and lessons learned from practical implementation of a software-supported water safety plan (WSP) approach. Water Science and Technology: Water Supply, 12(1), 101-108.
- Medema, G. J., Payment, P., Dufour, A., Robertson, W., Waite, M., Hunter, P., & Andersson, Y. (2001). Safe drinking water: an ongoing challenge. Assessing Microbial Safety of Drinking Water, 11. 45pp.

Ministerio de Medio Ambiente. (2011). Informe del estado del Medio Ambiente. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de [http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016\\_Capitulo\\_5.pdf](http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_5.pdf)

Ministerio de Obras Públicas. (2013). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos Chile 2012 – 2025. Recuperado el 15 de marzo de 2017 de [http://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](http://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf)

MINSAL. (1969). Decreto 735: Reglamento de los servicios de agua destinados al consumo humano. Recuperado el 15 de junio de 2017 de <http://bcn.cl/1v4ay>

MINSAL. (2015). Departamento de Desarrollo Estratégico. Líneas de trabajo. Recuperado el 20 de enero de 2017 de <http://web.minsal.cl/departamento-de-desarrollo-estrategico-lineas-de-trabajo/>

- MMA. (2017). Sistema de Gestión de Solicitudes – MMA: Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío. Recuperado el 20 de abril de 2017 de <http://contacto.mma.gob.cl/sistema-de-gestion-de-solicitudes>

- Molina, F., Álvarez Alcántara, A., & Espigares García, M. (2001). Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. *Revista de higiene y sanidad ambiental*, 1, 8-18.
- MPCA. (2007). Phosporus: Sources, Forms, Impact in Water Quality – A General Overview. 2pp.
- Mullenger, J., Ryan, G., & Hearn, J. (2002). A water authority's experience with HACCP. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(5-6), 149-155.
- Müller, G. (2003). Sense or no-sense of the sum parameter for water soluble “adsorbable organic halogens”(AOX) and “absorbed organic halogens”(AOX-S18) for the assessment of organohalogenes in sludges and sediments. *Chemosphere*, 52(2), 371-379.
- Nunes, M, & Tajara, E. (1998). Efeitos tardios dos praguicidas organoclorados no homem. *Revista de Saúde Pública*, 32(4), 372-382.
- OCDE. (1982). *Eutrophisation des eaux. Méthodes d e surveillance, d'evaluation on et de lutte*. Paris. 164pp.

OMS. (2004). *Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1: Recomendaciones*. Recuperado el 10 de enero de 2017 de

[http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowsres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowsres.pdf)

Ongley, E. D. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos* (No. 55). Food & Agriculture Organization. Recuperado el 15 de septiembre de 2017 de

<http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s00.htm#Contents>

- Organización de Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de desarrollo del Milenio: Informe de 2015*. United Nations Publications.72pp.

Organización Panamericana de la Salud. (2015). *Los planes de seguridad del agua son el medio más eficaz para garantizar la inocuidad del agua potable y proteger la salud pública*. Recuperado el 10 de enero de 2017 de

[http://www.paho.org/mex/index.php?option=com\\_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499](http://www.paho.org/mex/index.php?option=com_content&view=article&id=954:vii-foro-de-delegados-tecnicos-municipales-de-agua&Itemid=499)

PAHO. (2015). ETRAS/OPS presenta metodología en Planes de Seguridad del Agua a autoridades del Ministerio de Salud de Chile. Recuperado el 20 de enero de 2017 de <http://www.paho.org/blogs/etras/?p=1423>

Parra O, Muñoz M & L Pérez (2009). Gestión integrada de cuencas como base del ordenamiento territorial descentralizado. En: Von Baer, H. (Ed.). Pensando Chile desde sus regiones. Editorial Universidad de la Frontera: Serie AU-Sinergia Regional (Temuco, Chile), Octubre 2009. pp 490-494. 819 p. (GRH).

- Parker, A., & Summerill, C. (2013). Water safety plan implementation in East Africa: motivations and barriers. *Waterlines*, 32(2), 113-124.
- Pérez Vidal, A., Torres Lozada, P., & Cruz Vélez, C. H. (2009). Water safety plans. Fundamentals and prospects for implementing them in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 29(3), 79-85.
- Pinto, V. G. (2006). Análise comparativa de legislações relativas à qualidade da água para consumo humano na América do Sul. 194pp
- Plenge-Tellechea, F., Sierra-Fonseca, J. A., & Castillo-Sosa, Y. A. (2007). Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas. *Tecnociencia chihuahua*, 1(3), 4-6.
- Pulido-Bosch, A., Pulido-Leboeuf, P., Molina-Sánchez, L., Vallejos, A., & Martín-Rosales, W. (2000). Intensive agriculture, wetlands, quarries and water management. A case study (Campo de Dalías, SE Spain). *Environmental Geology*, 40(1), 163-168.
- Pusch, D., Oh, D. Y., Wolf, S., Dumke, R., Schröter-Bobsin, U., Höhne, M., ... & Schreier, E. (2005). Detection of enteric viruses and bacterial indicators in German environmental waters. *Archives of virology*, 150(5), 929-947.

RETC. (2017). Emisiones puntuales declaradas por establecimiento industrial. Recuperado el 20 de agosto de 2017 de <http://www.retc.cl/datos-retc/>

- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Braun, D. P., & Powell, J. (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated rivers: research & management*, 14(4), 329-340.
- Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Powell, J., & Braun, D. P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation biology*, 10(4), 1163-1174.
- Rinehold, A., Corrales, L., Medlin, E., & Gelting, R. J. (2011). Water Safety Plan demonstration projects in Latin America and the Caribbean: lessons from the field. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11(3), 297-308.
- Rodríguez, A., Buosi, D., Calencio, J., Barbosa, M.H., (2012). Plano de Segurança da Água: Garantindo a qualidade e promovendo a saúde, Ministerio de Saude. 59pp.
- Rodríguez, S., Gauna, L., Martínez, G., Acevedo, H., & Romero, C. (2012). Relación del nitrato sobre la contaminación bacteriana del agua. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 111-119.
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. 440 pp.
- Romero, H. (1985). Geografía de los climas. Colección Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar de Chile. Tomo XI. 243 pp.
- Rosén, L. Hokstad, P. Lindhe, A. Sklet, S. and Rostum J. (2007). Generic framework and methods for integrated risk management in water safety plans. Sweden: Techneau. 102 pp.
- SAG. (2017). Plaguicidas y fertilizantes: Antecedentes. Recuperado el 20 de agosto de 2017 de <http://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/plaguicidas-y-fertilizantes>
- Schmoll, O., Castell-Exner, C., & Chorus, I. (2011). From international developments to local practice: Germany's evaluation and dialogue process towards water safety plan implementation. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11(4), 379-387.

Shukla, V. K., Rastogi, A. N., Adukia, T. K., Raizada, R. B., Reddy, D. C. S., & Singh, S. (2001). Organochlorine pesticides in carcinoma of the gallbladder: a case-control study. *European Journal of Cancer Prevention*, 10(2), 153-156.

SIIT-BCN. (2010). Mapoteca SIIT: Mapas Vectoriales. Shapefile regiones, comunas, áreas urbanas, red hidrográfica, masas de agua. Recuperado el 15 de enero de 2017 de [http://www.bcn.cl/siit/mapas\\_vectoriales/index\\_htm](http://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_htm)

SISS. (2015). Importante participación de la SISS en la jornada "Planes de Seguridad del Agua de las Empresas Sanitarias". Recuperado el 15 de enero de 2017 de <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-12054.html>

SISS. (2016). Informe de coberturas sanitarias 2016. Recuperado el 15 de enero de 2017 de [http://www.siss.gob.cl/577/articles-16607\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-16607_recurso_1.pdf)

SISS. (2016b). Informe Sector Sanitario 2015. Recuperado el 15 de enero de 2017 de [http://www.siss.gob.cl/577/articles-16141\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.gob.cl/577/articles-16141_recurso_1.pdf)

SISS. (2017). La SISS: Qué hacemos. Recuperado el 15 de enero de 2017 de <http://www.siss.cl/577/w3-propertyvalue-3415.html>

- Stehr, A., Debels, P., Arumi, J. L., Alcayaga, H., & Romero, F. (2010). Modelación de la respuesta hidrológica al cambio climático: experiencias de dos cuencas de la zona centro-sur de Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 1(4), 37-58.
- Summerill, C., Pollard, S. J., & Smith, J. A. (2010). The role of organizational culture and leadership in water safety plan implementation for improved risk management. *Science of the total environment*, 408(20), 4319-4327.
- Tominaga, M. Y., & Midio, A. F. (1999). Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. *Revista de Saúde Pública*, 33(4), 413-421.
- Tuesca Molina, R. D. J., Ávila Rangel, H., Sisa Camargo, A., & Pardo Castañeda, D. (2015). Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano: análisis de tendencia de variables para consolidar mapas de riesgo: el caso de los municipios ribereños del departamento del Atlántico. 171 pp.

- Valdovinos, C., Parra, O., (2006). La Cuenca del Río Biobío Historia Natural de un Ecosistema de uso Múltiple. Publicaciones Cent. EULA | 1–25.
- Van Lanen, H. A. J., Heijnen, M., De Jong, T., & Van de Weerd, B. (1993). Nitrate concentrations in the Gulp catchment: some spatial and temporal considerations. *Acta geológica hispánica*, 28(2), 65-73.
- Vieira, J. M., & Morais, C. (2005). Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento. Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Universidade do Minho. 162pp.
- Westrell, T., Schönning, C., Stenström, T. A., & Ashbolt, N. J. (2004). QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. *Water Science and Technology*, 50(2), 23-30.
- Wetzel, R. G., & Limnology, G. (2001). Lake and river ecosystems. *Limnology*, 37, 490-525.
- World Health Organization. (2010). Hardness in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. 11pp.
- World Health Organization. (2011). Guidelines for drinking-water quality Fourth Edition. World Health Organization. 541pp.
- World Health Organization. (2017). Global status report on water safety plans: a review of proactive risk assessment and risk management practices to ensure the safety of drinking-water. 31pp.
- Yamamoto, K., Fukushima, M., & Kuroda, K. (1992). Total organic halogen: Chemical pollution parameter in urban river waters. *Water Science and Technology*, 25(11), 25-32.

## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Análisis de Puntos Críticos de Control.

Tabla 17. Principios que conforman el actual sistema de APPCC.

(Pérez Vidal *et al.*, 2009)

Principio		Detalle
1	<b>Análisis de Peligros</b>	Obtener una lista que identifique los agentes biológicos, químicos y físicos que puedan representar peligro para la salud o bien causar efectos adversos, en cada etapa del proceso. Describir posibles medidas de control para cada peligro identificado.
2	<b>Determinar los Puntos Críticos de Control (PCC)</b>	Según CAC un Punto Crítico de Control es una fase en la que se puede aplicar un control esencial para prevenir, reducir a un valor aceptable o eliminar un peligro.
3	<b>Establecer límites críticos</b>	Cada medida de control que acompaña a un PCC debe llevar asociado un límite crítico que separa lo aceptable de lo inaceptable.
4	<b>Establecer un sistema de monitoreo</b>	La vigilancia es la medición u observación programada de un PCC con el fin de evaluar si la fase está bajo control (cumpliendo los límites críticos).
5	<b>Establecer medidas correctivas</b>	Son las medidas que deberán adoptarse cuando la vigilancia en un PCC indique una desviación respecto a un límite crítico establecido.
6	<b>Establecer procedimientos de verificación o validación</b>	La verificación permite confirmar que el sistema de APCC funciona eficazmente. Estos procedimientos comprenden auditorías con el fin de examinar las desviaciones y el destino de los productos, así como muestreos y comprobaciones aleatorios para validar la totalidad del plan.
7	<b>Establecer un sistema de documentación y registro</b>	Documentar todos los procedimientos y los registros acorde con los principios y su aplicación

## **Anexo 2: Definición de metas y objetivos de salud**

El establecimiento de las metas de salud, que deben ser incluidas en las políticas de salud pública, es un componente fundamental en la estructura de seguridad del agua para consumo humano (OMS, 2004).

La definición de metas de salud tiene como objetivo orientar la determinación de acciones específicas para distribución segura de agua para consumo humano, incluyendo medidas de control, tales como protección del sistema y procesos de tratamiento. Esas metas de salud apoyan el desarrollo del PSA y la verificación de la implementación del plan. La definición de tales metas debe llevar en consideración la asociación entre la ocurrencia de enfermedades y la vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua para consumo humano (Tabla 20). Las metas pueden ser establecidas bajo uno o más criterios o recursos, ya sea: evidencias epidemiológicas; evaluación cuantitativa de riesgo microbiológico y químico; establecimiento de nivel de riesgo o carga de enfermedad tolerable; y evaluación de desempeño del tratamiento y de la calidad del agua. La conjugación de esos criterios permite establecer las medidas de protección del sistema de abastecimiento de agua. Los procesos de formulación, implementación, comunicación y evaluación de las metas de salud suministran beneficios a la gestión preventiva de la calidad del agua para consumo humano.

Hay tres tipos principales de metas de salud:

- a. Resultados de salud: son las más precisas y sostienen la derivación de las demás metas, con exigencia de mayor insumo técnico-científico. Se caracterizan por la reducción cuantificable de la incidencia o prevalencia de las enfermedades de transmisión hídrica (Molina, 2001; WHO, 2011).
- b. Objetivos de calidad del agua: La calidad del agua puede ser representado mediante la medición de diversos parámetros, pueden usarse para caracterizar abastecimientos de agua.
- c. Metas de desempeño de los procesos de tratamiento: se da en la identificación de procesos de tratamiento que reduzcan las concentraciones de microorganismos

u otros contaminantes en el sistema de abastecimiento de agua. Su aplicación más común, es basada generalmente en evaluaciones cualitativas, pudiendo ser aplicadas tanto para riesgos microbiológicos como químicos.

**Tabla 18. Resumen de los criterios para establecimiento de las metas, sus características, principales aplicaciones e instrumentos de evaluación.**

(OMS, 2004)

<b>Criterio</b>	<b>Características de las metas</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Instrumentos de Evaluación</b>
<b>Base Epidemiológica</b>	Reducción significativa de la incidencia o prevalencia de enfermedades relacionadas con el agua	Peligros microbiológicos o químicos asociados a enfermedades relacionadas con el agua, con elevada y medible carga de enfermedad.	Vigilancia en salud y epidemiología analítica.
<b>Calidad de Agua</b>	Valores máximos permisibles en general expresados como las normas de potabilidad	Microrganismos o sustancias químicas	Monitorización de los parámetros para verificar la conformidad con los valores de referencia.
	Valores de referencia aplicados a procedimientos de análisis de materiales y productos químicos	Aditivos químicos y subproductos	Procedimientos de análisis aplicados a los materiales y productos químicos.
<b>Eficiencia del tratamiento</b>	Definición de metas de desempeño de los procesos de tratamiento para la remoción de determinado contaminante, o grupos de contaminantes	Microrganismos o sustancias químicas	Verificación de la eficiencia del tratamiento.

### Anexo 3: Información necesaria para evaluar un sistema de abastecimiento

Tabla 19. Ejemplo de información útil para evaluar un sistema de abastecimiento de agua de consumo. (OMS, 2004)

<b>Componente del Sistema de abastecimiento de Agua de consumo</b>	<b>Información que debe tenerse en cuenta al evaluar el componente del sistema de abastecimiento de agua de consumo.</b>
<b>Cuenca de Captación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología e hidrología</li> <li>• Pautas meteorológicas y climatológicas</li> <li>• Salud general de cuenca de captación y río(s)</li> <li>• Fauna y Flora</li> <li>• Otros usos del agua</li> <li>• Tipo e intensidad de desarrollo y usos de las tierras</li> <li>• Otras actividades realizadas en la cuenca de captación que pueden potencialmente liberar contaminantes al agua de origen</li> <li>• Actividades futuras previstas</li> </ul>
<b>Agua Superficial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción del tipo de masa de agua (ejemplo, tamaño, profundidad, estratificación térmica, altitud)</li> <li>• Caudal y fiabilidad del agua de origen</li> <li>• Tiempo de retención</li> <li>• Constituyentes del agua (físicos, químicos, microbianos)</li> <li>• Protección (ejemplo, cercados, accesos)</li> <li>• Actividades recreativas y otras actividades humanas</li> <li>• Transporte del agua a granel</li> </ul>
<b>Tratamiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operaciones de tratamiento (incluidas las operativas)</li> <li>• Diseño de equipos</li> <li>• Equipo de monitoreo y de operación automática</li> <li>• Sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua</li> <li>• Rendimientos del tratamiento</li> <li>• Eliminación de agentes patógenos mediante desinfección</li> <li>• Residuo de desinfectante/tiempo de contrato</li> </ul>
<b>Embalse de servicio y distribución</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de embalses</li> <li>• Tiempos de retención</li> <li>• Variaciones estacionales</li> <li>• Protección (ejemplo, cubiertas, cercado, accesos)</li> <li>• Diseño del sistema de distribución</li> <li>• Condiciones hidráulicas (ejemplo, edad del agua, presiones, caudales)</li> <li>• Protección contra el refluo</li> <li>• Residuos del desinfectante (s)</li> </ul>

#### Anexo 4: Instituciones de interés en la justificación de peligros antrópicos

**Tabla 20. Principales Instituciones de interés en la justificación de peligros y eventos peligrosos (antrópicos).**

Institución	Información relevante
Ministerio de Obras Públicas	<u>DGA</u> : Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea; Informes Técnicos de la Cuenca del río Biobío  <u>Superintendencia de Servicios Sanitarios</u> : Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas y potable de la Cuenca del río Biobío
Ministerio de Medio Ambiente	<i>Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC)</i>
Ministerio de Bienes Nacionales	Catálogo Nacional de Información Geoespacial (Puntos de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, divisiones Comunes, caminos ferroviarios, tratamiento de residuos, establecimientos residuos líquidos industriales, centrales hidroeléctricas, biomasa, termoeléctricas, incendios forestales, usos de suelo).
Instituto Nacional de Estadística	Estadística sector industrial, agrícola-ganadero, demográfico y geográfico de las regiones del Biobío y Araucanía.
Centro EULA	Publicaciones científicas en la cuenca del río Biobío, Programa de Monitoreo de la cuenca del río Biobío, Informe final monitoreo para la vigilancia de la norma secundaria de calidad de aguas de la cuenca del río Biobío.

## Anexo 5: Casos de estudio internacionales PSA

### Australia

**Tabla 21. Equipo PSA - Melbourne Australia (Aguas Melbourne y representantes de 3 compañías minoristas de agua potable).**

(Bartram *et al.*, 2009)

Título de trabajo	Trabajo en el Equipo PSA	Experiencia
Capitán del equipo Ingeniero Superior	Planificación de la Calidad del Agua	Ingeniería de Calidad del Agua
Operador de Suministro de Agua	Equipo de Recolección de Agua	Operaciones - Embalse Upper Yarra
Soporte de Procesos - Entrega de Servicios	Operaciones - Área Norte	Especialista en Tratamiento de Agua
Operador de Suministro de Agua	Equipo del área de Westernport	Operaciones - Distribución/Tratamiento
Lider de la sección Tratamiento de Agua	Sistemas de Tratamiento	Gestión de activos de plantas de tratamiento
Contratista de Operaciones	Operaciones - Área Sur	Ingeniero de Suministro de Agua
Operador de Suministro de Agua	Equipo del embalse de Thomson	Operaciones - Embalse Thomson
Ingeniero de Procesos	Operaciones - Área Norte	Ingeniero de Suministro de Agua
Operaciones de plantas de tratamiento de agua	Equipo embalse Silvan	Operaciones de plantas de Tratamiento
Suministro de Agua	Equipo del embalse Maroondah-Winneke	Embalse Sugarloaf, Winneke Planta de Tratamiento y área del embalse Maroondah
Científico Principal	Planificación de la calidad del agua	Microbiología
Lider de la sección Obras de toma o captación	Operaciones	Operaciones de Captación
Científico de la empresa de agua	Compañía, venta de agua al por menor	Especialista en calidad de agua / químico
Gerente de Ingeniería de la empresa de agua	Compañía, venta de agua al por menor	Ingeniería de la calidad de agua (Distribución)
Gerente de Ingeniería de la empresa de agua	Compañía, venta de agua al por menor	Planificación de la calidad del agua

## Anexo 5: Casos de estudio internacionales PSA

### Guyana

**Tabla 22. Equipo PSA Guyana (Miembros del Comité Directivo y otros Socios).**

(Bartram *et al.*, 2009)

Nombre	Oficina	Responsabilidades
Dr Bheri Ramsarran	Ministro del Ministerio de Salud	Presidente
Mr Navin Chandarpal	Oficina del presidente	Miembro del Comité Directivo
Ms Savitri Jetoo	Aguas Guyana Inc. (Guyana Water Incorporated)	Miembro del Comité Directivo
Dr Ashok Sookdeo	Director, Salud Ambiental, Ministerio de Salud	Coordinador Local
Dr Teofilo Montiero	Oficina PAHO/WHO Guyana	Socio del Proyecto
Yohani Singh	Ministerio de Salud	Miembro del Comité Directivo / Secretario
Orrin Gordon	Presidente, Consejo Interino de Gestión, Linden	Miembro del Comité Directivo
Hance Thompson reemplazado por Tashana Redmond	Agencia de Protección Ambiental	Miembro del Comité Directivo
Khalid Alladin reemplazado por Geeta Singh	Agencia de Protección Ambiental	Miembro del Comité Directivo
Julius Farber	Ministerio de Gobierno Local y Desarrollo Regional; Presidente Regional - Región 3	Miembro del Comité Directivo
Debra Montouth-Hollingsworth	Secretario Permanente del Ministerio de Vivienda y Agua	Miembro del Comité Directivo
Nicollette Henry	Centro para el Control de Enfermedades - Guyana	Miembro del Comité Directivo
Renwick English	Agencia de Protección Ambiental	Miembro del Comité Directivo
Audreyanna Thomas		Miembro del Comité Directivo
Camille Roopnarine	Instituto de Salud Ambiental del Caribe	Coordinador del Plan de Seguridad de Agua
Dr. Christopher Cox	Instituto de Salud Ambiental del Caribe	Coordinador del Programa Nacional de Acción
Angella Rinehold	Centro para el Control de Enfermedades de EEUU	Consejero técnico
Lana Corrales	Centro para el Control de Enfermedades de EEUU	Consejero técnico
Dr. Rick Gelting	Centro para el Control de Enfermedades de EEUU	Consejero técnico

## Anexo 5: Casos de estudio internacionales PSA

### Perú-Ecuador

**Tabla 23. Equipo PSA Binacional Perú-Ecuador.**

(Bartram *et al.*, 2009)

<b>Institución</b>	<b>Cargo</b>
Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de los EE.UU.	Científico
Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de los EE.UU.	Gerente de Programas de Agua (Rama de Servicios de Salud Ambiental)
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS OPS/OMS)	Director
Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS OPS/OMS)	Consultor Regional de Calidad del Agua
Organismo Andino de Salud Convenio Hipólito Unuane (ORAS – CONHU)	Secretario Ejecutivo
Organismo Andino de Salud Convenio Hipólito Unuane (ORAS – CONHU)	Coordinador de la Red Andina de Vigilancia Epidemiológica (RAVE)
Dirección General de Salud Ambiental DIGESA Ministerio de Salud del Perú	Director
Dirección General de Salud Ambiental DIGESA Ministerio de Salud del Perú	Director Ejecutivo de Ecología y Protección del Ambiente
Dirección General de Salud Ambiental DIGESA Ministerio de Salud del Perú	Responsable de Vigilancia de Agua y Saneamiento
Dirección de Salud Ambiental. Ministerio de Salud Pública del Ecuador	Director
Programa Agua para Todos Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.	Director Ejecutivo
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.	Director Nacional de Urbanismo
FUNSAUD Bolivia	Director Ejecutivo y Consultor de PSA

## Anexo 6: Potenciales Juntas de Vigilancia Región del Biobío

Tabla 24. Juntas de Vigilancia Potenciales año 2011, región del Biobío

(DGA, 2011)

<b>JV POTENCIALES</b>	<b>FUENTE RIO O ESTERO</b>	<b>OUA INSCRITAS / EXISTENTES</b>	<b>Nº US APROX.</b>
BIO BIO	RIO BIO BIO	3 AC, y 1 CA INSCRITAS; 41 CA NO INSCRITAS	2719
	RIO BUREO	2 CA INSCRITAS	7
	RIO CALIBORO	3 CA INSCRITAS	50
	RIO COREO	6 CA INSCRITAS y 1 NO INSCRITA	79
	RIO DUQUECO	1 AC INSCRITA, 6 CA INSCRITAS, 1 CA EN TRAMITE y 12 NO INSCRITAS	1106
	RIO GUAQUI	3 CA INSCRITAS y 1 NO INSCRITA	24
	RIO HUEQUECURA	2 CA NO INSCRITAS	129
	RIO LAJA	3 AC INSCRITA, 1 OP, 3 CA INSCRITAS, 2 CA EN TRAMITE, 16 CA NO INSCRITAS, 93 CA NO INSCRITAS DEL SISTEMA LAJA, 9 CA NO INSCRITAS DEL SISTEMA ZAÑARTU	3594
	RIO QUILLAILEO	1 AC INSCRITA y 1 CA EN TRAMITE	191
	RIO RENAICO	2 CA INSCRITAS	30
	RIO RUCUE	1 CA INSCRITA y 1 CA NO INSCRITA	6
	MALLECO	RIO CAYUNCO	3 CA NO INSCRITAS
RIO HUEQUEN		5 CA NO INSCRITAS	33
RIO LIUCURA		2 CA NO INSCRITAS	Sin información
RIO LOLEN		3 CA NOS INSCRITAS	12
RIO MALLECO		1 CA EN TRAMITE Y 9 CA NO INSCRITAS	244
RIO MININCO		4 CA NO INSCRITAS	56
RIO NARANJO		2 CA NO INSCRITAS	Sin información
RIO PANCUTO		2 CA NO INSCRITAS	19
RIO PAULE		3 CA NO INSCRITAS	63
RIO PEDREGOSO		4 CA NO INSCRITAS	55
RIO PEHUENCO		3 CA NO INSCRITAS	35
RIO PEHUENCO RANQUIL		4 CA NO INSCRITAS	19
RIO PICHIHUENCO		4 CA NO INSCRITAS	28
RIO RENAICO		4 AC, 1 INSCRITA Y 3 EN TRAMITE; 2 CA NO INSCRITAS	178

## Anexo 7: Canales de regadío Cuenca del río Biobío

**Tabla 25. Canales de regadíos existentes en la Cuenca del río Biobío.**

(MOP, 2013)

<b>Nombre Canal</b>	<b>Descripción</b>
<b>Canal Zañartu</b> <b>(Ex Canal Colicheo)</b>	La bocatoma se ubica en la ribera norte del río Laja, frente al pueblo de Antuco, en la cuenca del río Biobío. El canal matriz traspasa agua del río Laja al río Huepil. La bocatoma es del tipo provisorio, con patas de cabra; se reconstruye anualmente. La entidad que administra esta obra es la Asociación de Canalistas del Zañartu.
<b>Canal Laja</b>	Capta sus recursos del río Laja, afluente del río Biobío. La bocatoma se ubica a 200 m aguas arriba del puente camino a Tucapel en la ribera sur. Consta de una barrera fija de hormigón con protección de enrocados, estructuras de hormigón para compuertas de cierres y admisión.
<b>Canal Antuco</b>	Los recursos del canal provienen del río Laja. Su toma se ubica en el km 3 del canal Pinochet Ríos, quien si posee bocatoma en el río. La capacidad de conducción del canal Antuco es de 1 m <sup>3</sup> /s. El canal Antuco tiene una longitud de 1 km y un total de 13 canales derivados.
<b>Canal Quillaileo</b>	La bocatoma se encuentra ubicada en la ribera derecha del río Quillaileo a 200 m aguas arriba de su confluencia con el río Huequecura, en la comuna de Santa Bárbara. Recibe agua del río Huequecura, quien entrega aguas arriba de la bocatoma en el río Quillaileo, un caudal de 700 l/s, mediante un canal alimentador de 200 m de longitud.
<b>Canal Biobío Norte</b>	Este canal se diseñó para regar una superficie de 7.000 ha. En la actualidad beneficia entre 300 a 500 propietarios. La bocatoma del canal está situada en la ribera derecha del río Biobío, a 25 km aguas arriba del cruce con la Ruta 5 Sur. La entidad que administra esta obra es la Asociación de Canalistas del Biobío Norte.

**Anexo 7:****Tabla 25. Canales de regadíos existentes en la Cuenca del río Biobío.**

(MOP, 2013)

(Continuación)

<b>Nombre Canal</b>	<b>Descripción</b>
<b>Canal Biobío Negrete</b>	La bocatoma se ubica en la ribera sur del río Biobío a 18 km al oriente del pueblo de Negrete. La bocatoma es permanente y lateral. El canal matriz tiene una capacidad de conducción de 18 m <sup>3</sup> /s y 12,5 km. Posee cuatro canales derivados con una longitud total de 27,8 km. La superficie bajo riego es de 10.000 ha.
<b>Canal Duqueco Cuel</b>	Capta sus recursos del río Duqueco, afluente del río Biobío. La bocatoma se ubica a 3 km aguas arriba del puente de la Ruta 5 Sur, en la ribera norte y a 2,3 km aguas arriba con la confluencia con el estero Cholguague. La bocatoma es permanente y de hormigón. La capacidad del canal matriz es de 9 m <sup>3</sup> /s.
<b>Canal Coreo</b>	La bocatoma se ubica en la ribera norte del río Duqueco a 3,5 km aguas abajo del puente del camino Los Ángeles – Villucura. La bocatoma es del tipo provisorio; el agua es captada a tajo abierto por un brazo del río Duqueco, conducida por 1,5 km hasta tres compuertas metálicas de cierre.
<b>Canal Biobío Sur</b>	El proyecto riega unas 45.000 ha, aún cuando la superficie de terrenos situadas al lado y bajo el canal es superior a la cifra modificada. El volumen de agua aprovechable fue calculado a base de una tasa de riego de 0,7 l/s por ha en todos los suelos de subsuelo impermeable y susceptibles de erosión en Mulchén y de 1 l/s por ha en los suelos de mayor profundidad en Angol. Las obras incluyen 132 km de canal Matriz y una red de canales derivados y subderivados de más de 300 km.

## Anexo 8: Empresas que descargan en la cuenca del río Biobío

**Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.**

(DGA, 2016)

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	OMUNA	RUBRO
AGRICOLA Y FORESTAL LAS ASTAS S.A.	PUNTO 1 (ESTERO DE DESAGUE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	TUCAPEL	Cría de ganado porcino
AGRICOLA Y LECHERA QUILLAYES DE PETEROA LTDA. (VICTORIA)	PUNTO 1 (RIO TRAIUGEN)	NORMA 90	TABLA 2	9	MALLECO	VICTORIA	Fabricación de mantequilla, queso, quesillos, crema y yogurt
BIOLECHE LACTEOS (PLANTA QUILQUE)	PUNTO 1 (ESTERO QUILQUE)	NORMA 90	TABLA 2	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Fabricación de mantequilla, queso, quesillos, crema y yogurt
CARLOS ABARZUA MUÑOZ (PISCICULTURA LAS ARAUCARIAS)	PUNTO 1 (ESTERO SIN NOMBRE)	NORMA 90	TABLA 2	9	MALLECO	CURACAUTIN	Reproducción peces y mariscos
CARLOS STANDEN HERLITZ	PUNTO 1 (RIO BUREO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	MULCHEN	Matanza de ganado
CENTRAL TERMOELECTRICA CAMPANARIO	PUNTO 1 (ESTERO LA COLONIA)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Generación, transmisión y distribución de electricidad
CENTRAL TERMOELECTRICA SANTA LIDIA	PUNTO 1 (ESTERO LA COLONIA)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Generación, transmisión y distribución de electricidad
CMPC CELULOSA S.A. (PLANTA LAJA)	PUNTO 1 (RIO BIO BIO)	NORMA 90	TABLA 2	8	BIOBIO	LAJA	Fabricación de pulpa de madera
CMPC CELULOSA S.A. (PLANTA PACIFICO)	PUNTO 1 (RIO BIO BIO - PLANTA)	NORMA 90	TABLA 2	9	MALLECO	COLLIPULLI	Fabricación de pulpa de madera

**Anexo 8**

**Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.**

**(Continuación)**

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	COMUNA	RUBRO
CMPC CELULOSA S.A. (PLANTA PACIFICO)	PUNTO 2 (ESTERO QUILACO - ENFRIAMIENTO)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	COLLIPULLI	Fabricación de pulpa de madera
CMPC CELULOSA S.A. (PLANTA SANTA FE)	PUNTO 1 (RIO BIO BIO)	NORMA 90	TABLA 2	8	BIOBIO	NACIMIENTO	Fabricación de pulpa de madera
COLBUN S.A. (CENTRAL TERMOELECTRICA LOS PINOS)	PUNTO 1 (CANAL DE DERRAMES)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Generación, transmisión y distribución de electricidad
COMERCIAL SANTA ELENA S.A. (LOS ANGELES)	PUNTO 1 (ESTERO QUILQUE)	NORMA 90	TABLA 2	REGION DEL BIOBIO	BIOBIO	LOS ANGELES	Fabricación de mantequilla, queso, quesillos, crema y yogurt
COPIULEMU S.A. (FLORIDA)	PUNTO 2 (ESTERO LAS PUYAS)	NORMA 90	TABLA 1	8	CONCEPCION	FLORIDA	Servicios de saneamiento y similares
EMPORIO ALEMAN S.A.	PUNTO 1 (RIO BIO BIO)	NORMA 90	TABLA 2	8	CONCEPCION	CHIGUAYANTE	Preparación de fiambres, embutidos y conservas de carnes
ENAP REFINERIA S.A. (BIO BIO)	PUNTO 1 (RIO BIO BIO)	NORMA 90	TABLA 2	8	CONCEPCION	HUALPEN	Refinería de petróleo
FORESTAL COLLICURA	PUNTO ESTERO SIN NOMBRE	NORMA 90	TABLA 1	8	CONCEPCION	SANTA JUANA	Forestal

**Anexo 8**

**Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.**

**(Continuación)**

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	COMUNA	RUBRO
IANSAGRO S.A. (LOS ANGELES)	PUNTO 1 (ESTERO PAILLAHUE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Fabricación y refinación de azúcar
JUAN ERNEST SIEFELD GUNDLACH (PISC. BELEN DEL SUR)	PUNTO 1 (ESTERO PUENTES)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	CURACAUTIN	Reproducción peces y mariscos
KETRUN RAYEN S.A. (PISC. KETRUN RAYEN)	PUNTO 1 (RIO CALIBORO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos
LANDES FISH FARMING (PISC KUDIÑAM)	PUNTO 1 (RIO RARINCO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos
LANDES FISH FARMING (PISC POLCURA)	PUNTO 1 (CANAL ZAÑARTU)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	TUCAPEL	Elaboración de pescado, crustáceos y otros productos marinos
LANDES FISH FARMING (PISC VALLE DEL LAJA)	PUNTO 1 (ESTERO EL LITRE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	TUCAPEL	Elaboración de pescado, crustáceos y otros productos marinos
MASISA S.A. (CABRERO)	PUNTO 1 (TABLEROS - CANAL AFL. ESTERO COIHUICO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Maderas terciadas, prensadas y aglomeradas
MASISA S.A. (CABRERO)	PUNTO 2 (MADERAS - CANAL AFL. ESTERO COIHUICO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Maderas terciadas, prensadas y aglomeradas

**Anexo 8**

**Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.**

**(Continuación)**

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	COMUNA	RUBRO
MASONITE S.A. (PLANTA DE PINTADO)	PUNTO 1 (CANAL AFL. ESTERO COIHUICO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	CABRERO	Maderas terciadas, prensadas y aglomeradas
NESTLE CHILE S. A.	PUNTO 2 (AGUAS DE REFRIGERACION - ESTERO PAILLAHUE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Fabricación de helados, sorbetes y otros postres
PAPELES NORSKE SKOG BIO BIO LTDA.	PUNTO 1 (RIO BIO BIO)	NORMA 90	TABLA 2	8	CONCEPCION	SAN PEDRO DE LA PAZ	Fabricación de papel y cartón
PLANTA LOS GUINDOS TG	PUNTO 1 (ESTERO LOS GUINDOS)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIO BIO	CABRERO	Generación, transmisión y distribución de electricidad
PESQUERA CAMANCHACA S.A. (TUCAPEL)	PUNTO 1 (CANAL ZAÑARTU)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	TUCAPEL	Reproducción peces y mariscos
PROMASA S.A.	PUNTO 1 (CANAL SIN NOMBRE, AFL. RIO RARINCO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Aserraderos y otros talleres para preparar madera
QUIMETAL INDUSTRIAL S.A. (COLLIPULLI)	PUNTO 1 (ESTERO COIPO)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	COLLIPULLI	Fabricación de plaguicidas, insecticidas, fungicidas y herbicidas
SALMONES ANTARTICA S.A. (PISC. COREO)	PUNTO 1 (MALLIN, COREO)	NORMA 90	TABLA 3	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos

**Anexo 8**

**Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.**

**(Continuación)**

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	COMUNA	RUBRO
SALMONES ANTARTICA S.A. (PISC. COREO)	PUNTO 2 (MALLIN, COREO)	NORMA 90	TABLA 3	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos
SALMONES ANTARTICA S.A. (PISC. EL PERAL)	PUNTO 1 (ESTERO CHOLGUAGÜE)	NORMA 90	TABLA 2	8	BIOBIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos
SALMONES CAPTREN S.A. (PISCICULTURA EL NEGRO)	PUNTO 1 (ESTERO EL NEGRO)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	CURACAUTIN	Reproducción peces y mariscos
SERVICIOS Y PROYECTOS EN ACUICULTURAS LTDA. (PISC. SAN PEDRO)	PUNTO 1 (ESTERO SIN NOMBRE, HUEÑIVALES)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	CURACAUTIN	Reproducción peces y mariscos
SERVICIOS Y PROYECTOS EN ACUICULTURAS LTDA. (SECTOR CAPTREN)	PUNTO 1 (VERTIENTE SIN NOMBRE, CAPTREN)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	CURACAUTIN	Reproducción peces y mariscos
SOCIEDAD COMERCIAL INDUSTRIAL Y DE SERVICIOS ZAFA LTDA.	PUNTO 1 (CANAL SANTA ANA)	NORMA 90	TABLA 1	9	MALLECO	RENAICO	Fabricación de mantequilla, queso, quesillos, crema y yogurt
SOCIEDAD COMERCIAL SOCOIND LTDA. (LOS ANGELES)	PUNTO 1 (CANAL DE DESAGÜE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIO BIO	LOS ANGELES	Aserraderos y otros talleres para preparar madera
SOCIEDAD DE INVERSIONES STH LTDA. (PISC. STH)	PUNTO 1 (RÍO CALÍBORO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIO BIO	LOS ANGELES	Reproducción peces y mariscos

**Anexo 8****Tabla 26. Empresas que descargan RILES en la cuenca del río Biobío.****(Continuación)**

NOMBRE	PUNTO DE DESCARGA	NORMA	TABLA A CUMPLIR	REGION	PROVINCIA	COMUNA	RUBRO
SOCIEDAD PISCICULTURA PICHICOREO (PISC. PICHICOREO)	PUNTO 1 (ESTERO PICHICOREO)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIO BIO	QUILLECO	Reproducción peces y mariscos
SUR INVERSIONES (PISC. CAMPAMENTO VIEJO)	PUNTO 1 (ESTERO SIN NOMBRE)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	ANTUCO	Reproducción peces y mariscos
SUR INVERSIONES (PISC. EL PEUMO)	PUNTO 1 (CANAL ZAÑARTU)	NORMA 90	TABLA 1	8	BIOBIO	TUCAPEL	Reproducción peces y mariscos

## Anexo 9: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la cuenca del río Biobío

**Tabla 27. Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), curso receptor y áreas de vigilancia a la cual pertenece.**

(SISS, 2017)

<b>Nombre Planta</b>	<b>Región</b>	<b>Provincia</b>	<b>Curso Receptor</b>	<b>Área de Vigilancia a la que pertenece</b>
Gran Concepción	Biobío	Concepción	río Biobío	BI-60
Hualqui	Biobío	Concepción	Estero Patricio Lynch	BI-50
Santa Juana	Biobío	Concepción	río Biobío	BI-50
Nacimiento	Biobío	Biobío	Estero Taboleo	BI-40
Los Ángeles	Biobío	Biobío	Estero Quilque	BI-40
San Rosendo	Biobío	Biobío	río Biobío	BI-40
Negrete	Biobío	Biobío	río Biobío	BI-30
Santa Bárbara	Biobío	Biobío	río Biobío	BI-30
Quilaco	Biobío	Biobío	río Biobío	BI-30
Lonquimay	Araucanía	Malleco	río Lonquimay	BI-10
Cabrero	Biobío	Biobío	Estero Coihueco	LA-30
Yumbel	Biobío	Biobío	río Claro	LA-30
Mulchén	Biobío	Biobío	río Bureo	BU-10
Monte Águila	Biobío	Biobío	Estero Monte Águila	LA-30
Quilleco	Biobío	Biobío	Estero Quilleco	DU-10
Los Sauces	Araucanía	Malleco	río Rehue	VE-10
Mininco	Araucanía	Malleco	río Mininco	MA-10
Angol	Araucanía	Malleco	río Vergara	MA-10
Collipulli	Araucanía	Malleco	río Malleco	MA-10
Ercilla	Araucanía	Malleco	río Huequen	MA-10
PTAS Renaico	Araucanía	Malleco	río Renaico	RE-10

## Anexo 10: Estaciones Pluviométricas DGA

**Tabla 28. Resumen estaciones pluviométricas DGA, en la cuenca del río Biobío.**

(DGA, 2017)

	Nombre Estación	Código BNA	Provincia	Comuna	Fecha Inicio Estación	Primer Año Reportado	Años Reportados Enero A Diciembre	Área de Vigilancia a la que pertenece
1	Embalse Ralco	08312002-9	Biobío	Quilaco	19-06-2007	2007	2011 a 2016	BI-20
2	Estero Hualqui en Desembocadura	08393002-0	Concepción	Hualqui	01-03-2009	2009	2012 a 2014	BI-50
3	Estero Quilque en Los Ángeles	08366002-3	Biobío	Los Ángeles	01-06-2007	2008	2010-2011; 2013 a 2016	BI-40
4	Laja	08367001-0	Biobío	Laja	01-11-1961	1961	1962 a 1966; 1969-1970; 1979 a 1987; 1993; 1995 a 2005; 2007 a 2016	LA-30
5	Las Achiras	08364001-4	Biobío	Los Ángeles	01-01-1964	1964	1964 a 1970; 1973; 1975; 1977 a 1988; 1990; 1993 a 2016	BI-40
6	Los Ángeles	08334002-9	Biobío	Los Ángeles	01-07-1962	1962	1963 a 1968; 1970 a 1971; 1973 a 1988; 1990-1991; 1994 a 2016	BI-30
7	Mulchén	08332002-8	Biobío	Mulchén	01-01-1962	1962	1962 a 1973; 1975 a 1987; 1991 a 2016	BU-10
8	Pangue Embalse	08313002-4	Biobío	Santa Bárbara	01-12-2002	2007	2008 a 2016	BI-20
9	Pilgüen	08330002-7	Biobío	Mulchén	01-05-1992	1992	1993; 1997 a 2007; 2009 a 2013; 2015-2016	BU-10
10	Quilaco	08318002-1	Biobío	Quilaco	01-10-1948	1948	1949; 1952 A 2016	BI-30
11	Quillaileo	08316001-2	Biobío	Quilleco	01-05-1992	1992	1993 a 1997; 2000 a 2007; 2009 a 2011; 2014 a 2016	BI-20

## Anexo 10

**Tabla 28. Resumen estaciones pluviométricas DGA, en la cuenca del río Biobío (DGA, 2017).** (Continuación)

	<b>Nombre Estación</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Provincia</b>	<b>Comuna</b>	<b>Fecha Inicio Estación</b>	<b>Primer Año Reportado</b>	<b>Años Reportados (Enero A Diciembre)</b>	<b>Área de Vigilancia a la que pertenece</b>
12	río Bio-Bio en Llanquén	08307002-1	Biobío	Santa Bárbara	20-09-2002	2003	2004 a 2006; 2011 a 2016	BI-10
13	río Biobío en Coihue	08334001-0	Biobío	Negrete	01-01-1978	2009	2011; 2013-2014; 2016	BI-30
14	río Biobío en Desembocadura	08394001-8	Concepción	Concepción	01-08-1985	2001	2003; 2008 a 2013; 2015-2016	BI-60
15	río Biobío en la Culebra	08317004-2	Biobío	Santa Bárbara	19-12-2013	2014	2015	BI-20
16	río Biobío en Longitudinal	08319001-9	Biobío	Los Ángeles	01-01-1900	2009	2014	BI-30
17	río Biobío en Puente Piulo	08317005-0	Biobío	Santa Bárbara	19-12-2013	2014	2015	BI-20
18	río Biobío en Rucalhue	08317001-8	Biobío	Quilaco	01-08-1985	2001	2002 a 2008; 2010 a 2016	BI-30
19	río Duqueco en Cerrillos	08323001-0	Biobío	Los Ángeles	01-01-1900	2009	2011; 2013; 2015	DU-10
20	río Huequecura aguas arriba de Embalse Angostura	08316002-0	Biobío	Santa Bárbara	19-12-2013	2014	Ninguno	BI-20
21	río Laja Aguas arriba del Salto (Rec.R.Laja)	08381003-3	Biobío	Los Ángeles	01-12-1992	2009	2012-2013; 2015-2016	LA-20

**Anexo 10: Tabla 28. Resumen estaciones pluviométricas DGA, en la cuenca del río Biobío (DGA, 2017).** (Continuación)

	Nombre Estación	Código BNA	Provincia	Comuna	Fecha Inicio Estación	Primer Año Reportado	Años Reportados (enero a diciembre)	Área de Vigilancia a la que pertenece
22	río Laja en Tucapel	08380001-1	Biobío	Tucapel	01-01-1966	2001	2002 a 2005; 2007; 2009 a 2013	LA-20
23	San Carlos de Purén	08319002-7	Biobío	Los Ángeles	01-01-1985	1985	1985 a 1989; 1993; 1995 a 2000; 2002 a 2016	BI-30
24	San Lorenzo en Biobío	08320001-4	Biobío	Quilleco	01-12-1990	1992	1993 - 1994; 1996-1997; 2002 a 2004; 2006 a 2011; 2013 a 2016	DU-10
25	Angol (La Mona)	08358002-K	Malleco	Angol	01-10-1974	1975	1975 a 1990; 1996 a 2016	VE-10
26	Encimar Malleco	08343002-8	Malleco	Collipulli	01-08-1988	1988	1989-1990; 1992 a 2003; 2005 a 2007; 2009 a 2015	RE-10
27	Ercilla (Vida Nueva)	08353001-4	Malleco	Ercilla	01-05-1991	1998	1999 a 2014; 2016	MA-10
28	Laguna Malleco	08350002-6	Malleco	Curacautín	01-10-1955	1955	1956 a 1966; 1975 a 1994; 1996-1997; 2001 a 2006; 2008; 2010 a 2016	MA-10
29	Liucura	08301001-0	Malleco	Lonquimay	01-05-1987	1987	1988-1989; 1992 a 1998; 2000 a 2016	BI-10
30	Lonquimay	08304004-1	Malleco	Lonquimay	01-05-1987	1987	1988-1989; 1991 a 1997; 1999 a 2016	BI-10
31	Poco a Poco	08358004-6	Malleco	Angol	01-01-1994	1994	1994 a 1997; 1999 a 2016	BU-10
32	río Malleco en Collipulli	08351001-3	Malleco	Collipulli	01-01-1900	2010	2011 a 2015	MA-10
33	río Mininco en Longitudinal	08343001-K	Malleco	Collipulli	01-01-1900	2013	2014 a 2016	RE-10

## Anexo 11: Estaciones Fluviométricas DGA

**Tabla 29. Resumen Estaciones Fluviométricas DGA “Caudales Medios Mensuales” Cuenca del Biobío.**

(DGA, 2016)

	Nombre Estación	Código	Provincia	Comuna	Año inicio estación	Primer año de reportes	Años reportados (enero a diciembre)	Área de Vigilancia a la que pertenece
1	Canal Abanico en KM 049	08375002-2	Biobío	Antuco	1992	2003	2004 a 2009; 2011 a 2012	LA-10
2	Canal Alto Polcura	08370006-8	Biobío	Antuco	2002	2003	2003 a 2012	LA-10
3	Canal Collao	08375005-7	Biobío	Tucapel	1965	2003	2004 a 2011	LA-20
4	Canal de descarga Central Antuco	08371001-2	Biobío	Antuco	2000	2003	2004 a 2009; 2011 a 2013	LA-20
5	Canal de descarga Central el Toro	08374002-7	Biobío	Antuco	2000	2003	2004; 2006 a 2011	LA-10
6	Canal Laja a Tucapel	08380002-K	Biobío	Quilleco	1900	1933	1973 a 1974; 1976 a 1980; 2004 a 2011	LA-20
7	Canal Laja-Diguillín	08380005-4	Biobío	Tucapel	2004	2005	2005 a 2006; 2008 a 2012	LA-20
8	Canal Mirrihue	08375006-5	Biobío	Antuco	2002	2003	2003 a 2011; 2013	LA-20
9	Canal Zañartu después de Bocatoma río Laja	08375004-9	Biobío	Tucapel	2000	2003	2004 a 2011; 2013	LA-20
10	Estero Hualqui en Desembocadura	08393002-0	Concepción	Hualqui	2009	2009	---	BI-50
11	Estero Paillihue en ex longitudinal sur	08324002-4	Biobío	Los Ángeles	2009	2011	2011	BI-30
12	Estero Quilque en los Ángeles	08366002-3	Biobío	Los Ángeles	2007	2007	2008; 2010 a 2013 2015	BI-40

**Anexo 11**

**Tabla 29. Resumen Estaciones Fluviométricas DGA “Caudales Medios Mensuales” Cuenca del Biobío.**(continuación)

	<b>Nombre Estación</b>	<b>Código</b>	<b>Provincia</b>	<b>Comuna</b>	<b>Año inicio estación</b>	<b>Primer año de reportes</b>	<b>Años reportados (enero a diciembre)</b>	<b>Área de Vigilancia a la que pertenece</b>
13	río Biobío ante junta Huiiri-Huiiri	08312001-0	Biobío	Santa Bárbara	2002	2002	2003 a 2013	BI-20
14	río Biobío ante junta Pangué	08313001-6	Biobío	Santa Bárbara	2002	2002	2004 a 2013; 2015	BI-20
15	río Biobío en Angostura Ralco 1	08312000-2	Biobío	Santa Bárbara	2002	2002	2003; 2006 a 2008; 2011 a 2013; 2015	BI-20
16	río Biobío en Llanquén	08307002-1	Biobío	Santa Bárbara	2002	2003	2004 a 2012; 2013 a 2015	BI-10
17	río Biobío en Coihue	08334001-0	Biobío	Negrete	1978	1983	1984 a 1990; 1992 a 1995; 2002; 2004; 2006 a 2013	BI-30
18	río Biobío en Desembocadura	08394001-8	Concepción	Concepción	1985	1985	1985 a 2008; 2012; 2013; 2015	BI-60
19	río Biobío en la Culebra	08317004-2	Biobío	Santa Bárbara	2013	2014	2014	BI-20
20	río Biobío en Longitudinal	08319001-9	Biobío	Los Ángeles	1900	1965	1966 a 1970; 2012 a 2013; 2015	BI-30
21	río Biobío en Puente Piulo	08317005-0	Biobío	Santa Bárbara	2013	2014	2015	BI-20
22	río Biobío en Rucalhue	08317001-8	Biobío	Quilaco	1985	1985	1985 a 2008; 2010 a 2012; 2015	BI-30
23	río Bureo en Acceso Mulchén	08333003-1	Biobío	Mulchén	2010	2012		LA-20

Anexo 11

Tabla 29. Resumen Estaciones Fluviométricas DGA “Caudales Medios Mensuales” Cuenca del Biobío.(continuación)

	Nombre Estación	Código	Provincia	Comuna	Año inicio estación	Primer año de reportes	Años reportados (enero a diciembre)	Área de Vigilancia a la que pertenece
24	río Duqueco en Cerrillos	08323001-0	Biobío	Los Ángeles	1900	1962	1963 a 1964; 1967 a 1972; 1974 a 1988; 2000 a 2001; 2005 a 2013; 2015	DU-10
25	río Duqueco en Villacura	08323002-9	Biobío	Quilleco	1966	1966	1966; 1968 a 1972; 1974; 1976 a 1977; 1981 a 2004; 2006 a 2012; 2014 a 2015	DU-10
26	río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura	08316002-0	Biobío	Santa Bárbara	2013	2014	2014 a 2015	BI-20
27	río Laja AG.RR.Del Salto (Rec.R.Laja)	08381003-3	Biobío	Los Ángeles	1992	2009	-----	LA-20
28	río Laja en Puente Perales	08383001-8	Biobío	Yumbel	1988	1988	1988 a 2009; 2013 a 2015	LA-30
29	río Laja en Tucapel	08380001-1	Biobío	Tucapel	1966	1966	1966 a 1971; 2001 a 2010	LA-20
30	río Laja en Tucapel 2	08380006-2	Biobío	Laja	2014	2015		LA-20
31	río Lirquén en Cerro el Padre	08317002-6	Biobío	Quilaco	1900	1942	1943 a 1970; 1972 a 1990; 1992 a 2011; 2013 a 2015	BI-30
32	río Lomín en Puente la Junta	08308000-0	Biobío	Santa Bárbara	2013	2013	-----	BI-20
33	río Mulchén en Mulchén	08330001-9	Biobío	Mulchén	1900	1937	1938 a 1952; 1957; 1959 a 1966; 1969; 1971; 1979 a 1981; 1983 a 2004; 2008	BU-10

## Anexo 12: Estaciones de Calidad de Agua DGA

Solo 6 de 31 estaciones poseen un registro continuo de datos hasta el 2016; al menos de un parámetro de calidad de aguas (Tabla 30).

**Tabla 30. Estaciones de calidad de aguas con información continua desde fecha de inicio al año 2016.**

(DGA,2017)

Nombre Estación	Código BNA	Año Inicio Estación	Años Con Datos	Nº de Muestreo por estación (*)
Biobío antes Llanquén (CA)	08307001-3	1989	1989 a 2016	107 en 28 años
Biobío en Rucalhue	08317001-8	1985	1985 a 2016	114 en 32 años
Renaico en el morro	08341002-7	1984	1984 a 2016	111 en 33 años
Vergara en Tijeral	08358001-1	1985	1985 a 2016	110 en 32 años
Huaqui en Diuquín	08366001-5	1985	1985 a 2016	109 en 32 años
Laja en Puente Perales	08383001-8	1988	1988 a 2016	98 en 29 años

\*Muestreos 3 o 4 veces al año

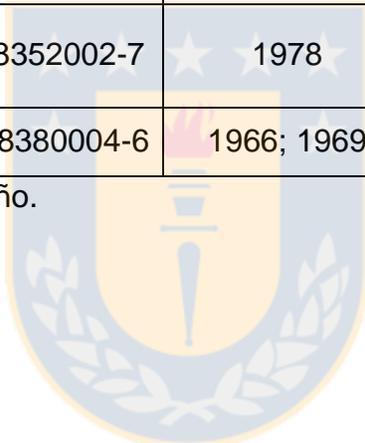
Por otro lado, existen estaciones con información intermitente que cuentan con menos de 30 muestreos por estación en los años reportados (Tabla 31).

**Tabla 31. Estaciones de calidad de aguas con menos de 30 muestreos desde el año de inicio al año 2016.**

(DGA, 2017)

<b>Nombre Estación</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Años Con Reportes (*)</b>	<b>Nº de Muestreo por estación*</b>
Lirquén en Cerro el Padre	08317002-6	1970 a 1972	13 Muestreos en 3 años
Biobío en Longitudinal	08319001-9	1966; 1969 a 1972	29 Muestreos en 5 años
Mulchén en Mulchén	08330001-9	1969 a 1974	25 Muestreos en 6 años
Renaico en Longitudinal	08342001-4	1978;1982;1984	3 Muestreos en 3 años
Mininco en Longitudinal	08343001-K	1969 a 1974	23 Muestreos en 6 años
Malleco en Camino Huequen-Renaico	08352002-7	★ 1978 ★	1 Muestreo en 1 año
Laja en la Lancha (CA)	08380004-6	1966; 1969	4 Muestreos 2 años

\*Muestreos 3 o 4 veces al año.



**Anexo 13: Parámetros monitoreados por estación y normativa asociada - DGA**

**Tabla 32. Resumen parámetros físico-químicos monitoreados por estación.**

(DGA, 2016)

<b>Parámetro Físico-Químico</b>	<b>NCh 409/1</b>	<b>NCh 1333</b>	<b>NSCA río Biobío</b>	<b>D.S Nº 90 2001</b>	<b>Nº Estaciones en las que se muestrea (Total 31 estaciones)</b>
Carbonato					1
Selenio Total	•	•			2
Fluoruro	•	•		•	4
Nitrógeno de Kjendahl				•	4
Turbiedad	•	•			4
Sílice					5
Coliformes Fecales	•	•	•	•	7
Nitrógeno de Amonio			•		9
Demanda Bioquímica de Oxígeno			•	•	10
Nitrógeno Total			•		11
Fósforo Total			•	•	12
Nitrógeno de Nitrito y Nitrato	•				13
Cromo Hexavalente				•	17
Cromo Total	•	•			17
Molibdeno Total		•		•	17
Nitrógeno de Nitrito	•		•		17
Razón absorción de Sodio		•			17
Selenio Disuelto				•	17

**Anexo 13**

**Tabla 32. Resumen Parámetros físico-químicos monitoreados por estación.**

(Continuación)

Parámetro Físico-Químico	NCh 409/1	NCh 1333	NSCA río Biobío	D.S Nº 90 2001	Nº Estaciones en las que se muestrea (Total 31 estaciones)
Aluminio Total		•	•	•	18
Cadmio Total	•	•		•	18
Arsénico Total	•	•		•	19
Calcio Total		•			19
Cobalto Total		•			19
Magnesio Total	•				19
Manganeso Total	•	•		•	19
Mercurio Total	•	•		•	19
Níquel Total				•	19
Plata Total		•			19
Plomo Total	•	•		•	19
Potasio Total					19
Sodio Total		•			19
Zinc Total	•	•		•	19
Cobre Total	•	•		•	20
Boro		•		•	21
Hierro Total	•	•	•		21
Potasio Disuelto					22

**Anexo 13**

**Tabla 32. Resumen Parámetros físico-químicos monitoreados por estación.**

(Continuación)

Parámetro Físico-Químico	NCh 409/1	NCh 1333	NSCA río Biobío	D.S Nº 90 2001	Nº Estaciones en las que se muestra (Total 31 estaciones)
Bicarbonato					23
Cloruro	•	•	•	•	23
Calcio Disuelto					23
Fósforo de Ortofosfato			•		23
Magnesio Disuelto					23
Sodio Disuelto					23
Demanda Química de Oxígeno			•		24
Oxígeno Disuelto		•	•		24
Sulfato	•	•	•	•	24
Nitrógeno de Nitrato	•		•		25
Temperatura		•		•	25
Conductividad Específica		•	•		31
pH	•	•	•	•	31

## Anexo 14: Parámetros Monitoreados en PMBB periodo 2007-2016

Tabla 33. Resumen estaciones de calidad de aguas PMBB correspondiente a afluentes de la cuenca del río Biobío, con datos de muestreo periodo 2007-2016.

(PMBB, 2017)

Parámetro	Parámetro incluido en				Unidad de Medida	Nº de Muestras realizadas en el periodo 2007 a 2016, de un total de 30 muestras					
	NCh 409	NCh 1333	NSCA Biobío	DS 90		GU1	VE2	DU1	BU2	LA1	LA2
Temperatura		•		•	°C	30	30	30	30	30	30
pH	•	•	•	•		30	30	30	30	30	30
Conductividad		•	•		µS/cm	30	30	30	30	30	30
Color Verdadero	•	•			Pt/Co	30	30	30	30	30	30
Color Aparente					Pt/Co	25	25	25	25	25	25
Oxígeno Disuelto		•	•		mg/L	30	30	30	30	30	30
Sólidos Suspendidos				•	mg/L	30	30	30	30	30	30
Sólidos Suspendidos Orgánicos					mg/L	29	30	30	30	30	30
Sólidos Suspendidos Inorgánicos					mg/L	30	30	30	30	30	30
DBO5			•	•	mg/L	30	30	30	30	30	30
DQO			•		mg/L	30	30	30	30	30	30
Nitrógeno Total			•		mg/L	30	30	30	30	30	30
Amonio			•		mg/L	29	30	30	29	30	30
Nitrito	•		•		mg/L	30	30	30	30	30	30
Nitrato	•		•		mg/L	30	29	30	30	30	30
Fósforo Total			•	•	mg/L	30	30	30	30	30	30
Aluminio		•	•	•	mg/L	30	30	30	30	30	30
Fenoles Totales	•		•	•	µg/L	30	30	30	30	30	30
AOX			•		mg/L	30	30	30	30	30	30
Hidrocarburos Totales		•			mg/L	30	30	30	30	30	30
Coliformes totales					NMP/100ml	28	28	28	28	28	28
Coliformes Fecales	•	•	•	•	NMP/100ml	29	29	29	29	29	29

**Anexo 15: Eventos peligrosos y peligros naturales identificados para la cuenca del río Biobío**

**Tabla 34. Resumen eventos peligrosos y peligros naturales identificados para la cuenca del río Biobío.**

(Bartram *et al.*, 2009)

<b>Evento Peligroso (Fuente de Peligro)</b>	<b>Peligros Asociados</b>
Fenómenos meteorológicos y climáticos	Cambios rápidos en la calidad del agua de la fuente y en la cantidad de agua para ser captada
Sequías	Cantidad y calidad suficientes de agua cruda
Inundación	Cantidad y calidad suficientes de agua para potabilizar; destrucción parcial o total de las instalaciones de sistema suministro de agua potable, Contaminación Física y Microbiológica.
Aluviones	Derrumbes, arrastre de sedimentos, Contaminación Física del agua (Turbidez)
Terremotos	Corte de suministro por destrucción de instalaciones Contaminación Química, Física y Microbiológica
Volcanismo	Precipitación de Cenizas, Contaminación Química, Física (Instalaciones)