

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante : Álvaro Suazo Schwencke

**EVOLUCIÓN DE LA CALIDAD QUÍMICA DE
LOS RÍOS REGISTRADA EN LA REGIÓN DE
LOS RÍOS**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el
Título de Ingeniero Civil.

CATHERINE ROMINA VIELMA ASTETE.

Concepción, diciembre de 2015

Dedicado:

*A mis madres Silvia Astete y María Moya. Y
a mí tata Héctor Monsalves.*

Agradecimientos:

Agradezco por sobre todo a mi familia por su esfuerzo y cariño entregado.

A mi amor Felipe Moreno por toda su paciencia apoyo, y amor entregado en este proceso.

A los amigos, por todos aquellos momentos divertidos e inolvidables.

Agradezco a mis profesores por los conocimientos brindados y por su buena disposición.

Y por último agradezco a la Universidad del Bío-Bío por haber encontrado en ella un segundo hogar.

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Objetivos.....	4
2	ANTECEDENTES	5
2.1	Región de Los Ríos.....	5
2.2	Cuencas Región de los Ríos.....	6
2.2.1	Cuenca Valdivia	6
2.2.2	Cuenca Río Bueno	7
2.3	Estudio de normas secundarias de calidad ambiental.....	8
3	METODOLOGÍA.....	9
3.1	Información DGA	9
3.2	Verificación de datos.	12
3.3	Selección de parámetros a analizar	14
3.3.1	Definición de parámetros químicos.....	17
3.4	Comparación de calidad observada con normas.....	21
3.5	Comparación estacional.....	21
3.6	Análisis regional.	21
4	RESULTADOS Y EVALUACIÓN.....	22
4.1	Validación de datos.....	22
4.2	Análisis temporal.	22
4.3	Cumplimiento de normativa.	23
4.4	Análisis estacional.	26
4.5	Análisis regional	28
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
6	BIBLIOGRAFÍA.....	33

Índice de Tablas.

TABLA 2-1: ÁREAS DE VIGILANCIA CUENCA RÍO VALDIVIA.	8
TABLA 3-1: REGISTRO DE LA DGA EN LA CUENCA DE VALDIVIA.....	10
TABLA 3-2: REGISTRO DE LA DGA EN LA CUENCA DEL RÍO BUENO.....	11
TABLA 3-3: HIPÓTESIS TEST T-STUDENT PARA MUESTRAS PAREADAS.....	13
TABLA 3-4: SELECCIÓN Y RANGO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.....	15
TABLA 3-5: SELECCIÓN Y RANGO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD EN LA CUENCA DEL RÍO BUENO.....	16
TABLA 3-6: PERIODOS ESTACIONALES EMPLEADOS.....	21
TABLA 4-1: ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA SEGÚN NORMATIVAS.....	23
TABLA 4-2: ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA SEGÚN NORMATIVAS.....	24
TABLA 4-3: ANÁLISIS DE PARÁMETROS EN LA CUENCA DEL RÍO BUENO SEGÚN NORMATIVAS.....	25
TABLA 4-4: RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT PARA LOS PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.....	26
TABLA 4-5: RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT PARA LOS PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.....	27
TABLA 4-6: RESULTADOS PRUEBA T-STUDENT PARA LOS PARÁMETROS DE LA CUENCA DEL RÍO BUENO.	27

Índice de figuras.

FIGURA 3-1: UBICACIÓN DE ESTACIONES.....	11
FIGURA 4-1: GRÁFICO DEL ALUMINIO EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.....	28
FIGURA 4-2: GRÁFICO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.	29
FIGURA 4-3: GRÁFICO DEL CROMO EN LA CUENCA DEL RÍO VALDIVIA.....	29
FIGURA 4-4: GRÁFICO DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN LA CUENCA DEL RÍO BUENO.	30

Evolución de la Calidad Química de los ríos Registrada en La Región de Los Ríos.

Autor: Catherine Vielma Astete

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
Correo Electrónico: cvielma.ic@gmail.com

Profesor Patrocinante: Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
Correo Electrónico: asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

El agua es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida e indispensable para el hombre, teniendo directa relación con la salud de las personas. Su mal o indiscriminado uso puede provocar la contaminación de este elemento con el consecuente deterioro de la calidad de los demás recursos naturales. Es por esto que se reconoce la necesidad de disponer de antecedentes y herramientas de gestión para manejar adecuadamente éste recurso, como por ejemplo su evaluación de los parámetros químicos a través del tiempo.

Debido a lo anterior, el presente informe se enfocó en dilucidar la evolución que ha sufrido químicamente la calidad del agua en la región de Los Ríos. Debido a que ésta región se caracteriza por presentar una gran cantidad de ríos, siendo sus principales cuencas: la cuenca del río Valdivia y la cuenca del río Bueno, donde se centrará este estudio.

La metodología de este informe se centró en analizar los parámetros químicos registrados por la DGA en sus diversas estaciones, en comparación a la NCh 1333 Of78 y la Normativa Secundaria de Calidad Ambiental. Para el análisis estacional se recurrió al test estadístico t de Student, para observar cómo se alteran los parámetros químicos según la época del año en que es tomada la muestra. Mientras que para el análisis regional se utilizaron gráficos para determinar alguna relación existente entre estaciones o cuencas.

Finalmente se concluyó que los parámetros químicos en general se encontraban dentro de lo establecido por las normas, sin embargo la evolución en el tiempo de algunos parámetros como el cobre, magnesio y mercurio ha sido desfavorable, presentando leves aumento a medida que pasan los años, siendo el mercurio a partir del año 2012 el único parámetros fuera de norma en toda la región de Los Ríos.

Palabras claves: Calidad del agua, parámetros químicos, análisis estacional, estación de monitoreo

Evolution of the chemical quality of the rivers, Registered in region Rivers.

Author: Catherine Vielma Astete

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.
Email: cvielma.ic@gmail.com

Teacher Guide: Dr Álvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.
Email: asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

Water, essential for life and indispensable for mankind, is a unique and scarce natural resource that has an impact on people's health. Its inappropriate use can lead to the contamination of this element, therefore affecting the quality of the resources surrounding it. This is why the use of previous data and management tools is crucial for the proper manipulation of this resource, for example by assessing chemical parameters over time.

As a result of these conditions, this report focused on explaining the chemical evolution water suffered in the region of Los Ríos. Due to the vast amount of rivers found in this region, this research focused on its main basins: the basin of the Valdivia river and the basin of the Bueno river. The methodology employed in this report consisted on analyzing the chemical parameters, based on the comparison between the Nch 1333 Of78, the data the DGA registered in their different stations and the High Environmental Quality Regulations. For seasonal analysis, the statistical t Student test was used to see how chemical parameters are altered depending on the time of year when the sample was taken. On the other hand, graphs were used to show if there was an existing relationship between the seasons of the year and river basins.

The research concluded that chemical parameters were generally within what's requested by the regulations, however the parameters of copper, magnesium and mercury, have been unfavorable, showing slight increases over time. Since 2012, mercury has been the only resource that exceeds the amount of chemical parameters allowed by the regulations.

Key words: quality of water, chemical parameters, seasonal analysis.

1 INTRODUCCIÓN.

El agua, como elemento natural, es primordial para la vida de los seres vivos. Se caracteriza por parámetros biológicos, físicos y químicos, los cuales si son alterados pueden provocar serios daños al ecosistema y a la vida humana.

Cuantitativamente Chile posee una gran cantidad de lagos y ríos de corta extensión, con bajos caudales y muy torrentosos debido a la elevada pendiente de la cordillera, lo cual impide por lo general navegar en ellos. Sin embargo poseen un gran potencial energético y son esenciales para la vida humana, agrícola e industrial del país. De esta manera todas las actividades humanas desarrolladas en el país están directa o indirectamente relacionadas a estos flujos. Esta constante interacción del hombre produce un riesgo latente de contaminación de las aguas.

De forma particular en la Región de Los Ríos, que es la zona en que se enfocará este proyecto se caracteriza, como su nombre lo indica, por tener una gran cantidad de lagos y ríos. Sus dos principales cuencas son la del río Valdivia y la del río Bueno. La primera se genera más allá de la línea de frontera con Argentina, constituyendo una hoya calificada como trasandina, posee una superficie total de 9200 Km² aproximadamente, con un largo de 200 km y un caudal de 687 m³/s la cual lo ubica como el tercer río de mayor caudal en Chile. La cuenca del río Bueno con 17.200 Km² de extensión, es la quinta cuenca de Chile en atención a su tamaño, con un caudal 570 m³/s (Biblioteca Congreso Nacional s.f.). Dicha zona, en los últimos 15 años, ha experimentado un aumento de su población y su actividad económica, la que se basa principalmente en el rubro silvicultor, tanto por la extracción de maderas (principalmente pino insigne y eucalipto) como del procesamiento de celulosa en plantas como la de CELCO. Otras áreas importantes son el desarrollo agrícola de cereales y de la ganadería, actividades realizadas en los sectores interiores de la región, además del turismo que es una fuente importante de ingreso para la zona (Gobierno Regional s.f.). Las actividades relatadas anteriormente, como bien se sabe, están ligadas directamente a los cursos de agua, por lo que fácilmente se puede establecer que a lo largo de los años los cursos de agua han sido afectados por esta interacción, pudiendo producir una alteración de este elemento.

Por lo anterior, el presente informe de proyecto de título se centrará en el análisis de la evolución en el tiempo de los parámetros químicos del agua superficial registrados por la Dirección General del Agua en las cuencas mencionadas anteriormente (cuenca del río Valdivia y cuenca del río Bueno). Esperando lograr una base de datos importantes que den pie a posibles investigaciones medioambientales futuras a realizar en la zona.

1.1 Objetivos.

El objetivo general de este proyecto de título es:

- ✓ Analizar la calidad de los ríos registrada en estaciones de la Dirección General de Agua de la región de Los Ríos.

Los objetivos específicos son:

- ✓ Identificar los principales parámetros químicos registrados en la región.
- ✓ Determinar los cambios químicos que han experimentados en el último tiempo las cuencas en estudio.
- ✓ Establecer las variaciones temporales de los parámetros químicos.
- ✓ Relacionar la calidad del agua en distintos cauces o a través de ellos.

2 ANTECEDENTES

El presente proyecto de título se centra en el análisis de la calidad del agua superficial registrada en la Región de Los Ríos. Esta es una de las regiones que presenta una mayor cantidad de recursos hídricos en el país, los que con el tiempo, debido al cambio que ha experimentado la zona (aumento de la población, introducción de industrias forestales), se han visto afectados. Es por esto que es importante analizar la evolución en el tiempo que han desarrollado los parámetros químicos de esta región.

2.1 Región de Los Ríos

Es una zona geográfica del sur de Chile. Como región se estableció mediante la ley 20.174 publicada el 2007 bajo el nombre de “Región de Los Ríos”. Consta de una superficie total de 18.429 km², siendo Valdivia y Ranco sus dos provincias. Considerando las comunas de Valdivia, Mariquina, Lanco, Los Lagos, Corral, Máfil, Panguipulli y Paillaco parte de la provincia de Valdivia. Para la Provincia de Ranco se incluyó a La Unión, Futrono, Río bueno y Lago Ranco. Las capitales provinciales son Valdivia y La Unión respectivamente. (Sistema Nacional de Información Ambiental s.f.)

Esta región limita al norte con la región de La Araucanía, al Sur con la región de Los Lagos, y como ocurre en casi todo el territorio chileno limita al este con Argentina y al oeste con el Océano Pacífico.

En relación a su población, según lo que estableció el censo del 2002, la Región de Los Ríos contaba con una población total de 356.396 habitantes (178.457 hombres y 177.939 mujeres). Se espera una proyección para el 2020 de 417.989 habitantes (208.645 hombres y 209.344 mujeres). El 68% vive en zonas urbanas, concentrados principalmente en Valdivia.

Respecto a su economía regional una gran parte se basa en el rubro silvicultor, contemplando tanto la extracción de maderas como su procesamiento, seguido por agrícola y la ganadería. Sin olvidar otras diversas actividades industriales, como la cervecera Kustmann. También es necesario destacar el turismo que se genera en la zona, fuente importante para el desarrollo de la región, teniendo su apogeo en la ciudad de Valdivia, como también en balnearios como Coñaripe, sector de Los Siete Lagos, ribera del Lago Ranco, centros termales y reservas naturales existentes.

Reflejo en lo comentado anteriormente, según el Informe Económico Regional, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística-Chile, los principales puestos de trabajos se encuentra en la

agricultura, caza, silvicultura y pesca, seguido por los puestos de trabajo que entrega el comercio al por mayor y por menor (Gobierno Regional s.f.).

2.2 Cuencas Región de los Ríos

Las cuencas principales de la región de Los Ríos son la de Valdivia y la del Río Bueno. En estas cuencas es donde se centra el análisis de parámetros químicos.

2.2.1 Cuenca Valdivia

La cuenca de Valdivia es una hoya calificada como trasandina, ya que se genera más allá del límite de Argentina, con una extensión de 10.275 km², caracterizándose por presentar una cadena de grandes lagos en su curso alto.

Respecto a sus aportes de caudal el río Valdivia es alimentado por dos grandes ríos, el río Calle Calle y el río Cruces, teniendo el río Calle Calle un complejo sistema fluvioacustre, donde los lagos andinos regulan los caudales producidos por las aguas lluvias, lo que provoca que este río presente un caudal abundante y casi uniforme en todo el año, por lo que este famoso río que rodea la ciudad de Valdivia es un importante atrayente turístico.

Por otra parte el río Cruces presenta un desarrollo meándrico y de escasa pendiente, teniendo un desarrollo total de 125 km de NE a SW, marcado por riberas acantiladas y con meandros, dejando a su paso islas y pantanos, drenando una superficie de 3.233 km². Sus principales aportes son los ríos Nanihue y Pichoy.

Respecto al clima de la cuenca se puede decir que presenta dos tipos, clima templado cálido lluvioso con influencia mediterránea en el sector centro y bajo de la cuenca, y un clima templado frío lluvioso con una influencia mediterránea en el sector de la precordillera de la cuenca, con una temperatura media anual de 12°C.

Finalmente, respecto al suelo esta cuenca presenta la serie de suelo Nahuelbuta, suelos de posición alta, ondulados a montañosos, derivados de rocas metamórficas altamente micáceas, esquistos y filitas. La vegetación natural que presenta es peumos, robles e incluso araucarias en las zonas más altas.

En la Cordillera de la Costa la cuenca presenta 6 tipos de suelos, según lo que establece la cartografía de CIREN, correspondientes a: Bahía Mansa, Punotro, Piedra de Oro, Repil, Hueñi y serie Collihuinco. Siendo suelos que están ubicados sobre metamorfitas muy meteorizadas finalmente la zona norte presenta suelos planos, aluviales, estratificados y variables en

profundidad. Tiene principalmente un suelo franco arenoso fina o muy fina a franco limosa, granular débil, friable a muy friable (Ministerio de Obras Públicas 2004).

2.2.2 Cuenca Río Bueno

Esta cuenca de la hoya andina tiene una superficie de 15.367 m², presenta una gran cantidad de lagos en su tercio oriental, como Ranco, Puyehue y Rupanco.

El río Bueno nace del lago Ranco y presenta una extensión de 130 km de largo aproximadamente. Sus principales aportes tributarios los recibe en el sur, donde la hoya alcanza su mayor desarrollo. Sus principales aportes de la zona sur son el río Pilmaiquén, río Rahue, río Negro. Por otra parte en su ribera norte no recibe grandes aportes.

Presenta en su curso superior pendientes fuertes, con secciones angostas y profundas, moviéndose entre barrancos. Posteriormente, en su curso medio, la corriente es más lenta con riberas menos escarpadas, tendiendo un escurrimiento lento y caudaloso.

Al igual que la cuenca del río Valdivia, esta cuenca presenta dos tipos de clima: templado cálido lluvioso con influencia mediterránea en el sector centro y bajo de la cuenca y un clima templado frío lluvioso con influencia mediterránea en el sector precordillerano.

El tipo de suelo que presenta esta cuenca en el sector de la cordillera de la costa es de textura arcillosa, con bajo contenido de materia orgánica y poca permeabilidad, por su gran pendiente se utiliza para fines forestales y crianza de ganado. La zona precordillerana de la costa presenta suelos de lomaje y colinas de una textura arcillosa, con bajos niveles de materia orgánica, presenta un buen drenaje externo y poca permeabilidad. Por otra parte en el llano central los suelos presentan mejores características para el cultivo, frutales y praderas de producción alta, sus suelos son planos a levemente ondulados, derivados de cenizas volcánicas recientes, presenta alta capacidad de retención de agua y buena permeabilidad. Finalmente en el sector de la precordillera andina, presenta una superficie ondulada a quebrada derivados de cenizas volcánicas recientes, con un alto porcentaje de materia orgánica y buenas características físicas (Ministerio de Obras Públicas 2004).

2.3 Estudio de normas secundarias de calidad ambiental.

Con la revisión bibliográfica realizada se encontró que las normativas que se adecuan de mejor manera al tipo de análisis son: la norma chilena NCh1333 Of78, que fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a los requerimientos de aspecto físico, químico y biológico, según el uso determinado; y la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, la cual tiene como objetivo final la preservación de la calidad de las aguas superficiales continentales.

Para la Norma Secundaria de Calidad ambiental propuesta para la cuenca del río Valdivia (Ministerio del Medio Ambiente 2013).se han establecido diez áreas de vigilancia, de las cuales solo cinco se utilizaran debido a la información recopilada. Los lugares de inicio y término de las áreas de vigilancia se establecen en Tabla 2-1. Las coordenadas (en UTM WGS 84 – Huso 18) se señalan a modo referencial.

Tabla 2-1: Áreas de vigilancia cuenca río Valdivia.

Cauce	Área de vigilancia	Límites de área de vigilancia	Coordenadas UTM (referenciales)	
			N	E
Río Cruces	RCII	De: Río Cruces Loncoche	5.639.597	705.228
		Hasta: Río Cruces Rucaco	5.620.006	680.443
Río Cruces	RCIII	De: Río Cruces Rucaco	5.620.006	680.443
		Hasta: Río Cruces Cahuincura	5,620.787	667.634
Río Cruces	SNCA	De: Río Cruces desde San Luis de Alba	5.614.447	658.822
		Hasta: Confluencia río Cruces y río Calle Calle	5.590.372	648.860
Río Calle Calle I	RCCI	De: Río Quinchilca	5.586.045	691.925
		Hasta: Balsa San Javier	5.592.061	674.754
Río Calle Calle III	RCCIII	De: Cuesta Soto	5.593.991	656.144
		Hasta: Frente Club de Yate	5.590.480	649.650

Fuente: Normas Secundarias de Calidad Ambiental (2013).

Para mayor información en el Anexo A se muestra tabla que establece los niveles de calidad ambiental para cada uno de los parámetros normados.

Para la cuenca del río Bueno no se ha establecido aún una norma secundaria de calidad ambiental. Por ello las estaciones presentes en esta cuenca se evaluarán de acuerdo a la caracterización de la Calidad de Agua según propuesta de Norma secundaria, la cual considera 61 parámetros que son utilizados para caracterizar el agua en clases o categorías, las que se relacionan con su uso potencial y su valor ambiental, en el Anexo A se indica la tabla con límites de clases. De igual modo se analizarán el resto de estaciones de la cuenca del río Valdivia no contempladas en la Norma Secundaria.

3 METODOLOGÍA.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se realizaron los siguientes procedimientos: recopilación de información de la DGA, verificación de los datos, selección de parámetros a analizar, comparación de calidad observada con normas, comparación estacional y análisis regional.

3.1 Información DGA

Se utilizó la información registrada por la Dirección General de Agua en periodo de registro desde el año 2000 al año 2014. Las estaciones utilizadas en este estudio para el análisis de la cuenca del río Valdivia son las indicadas en la Tabla 3-1

Tabla 3-1: Registro de la DGA en la cuenca de Valdivia.

N°	Estación	Código	N° de parámetros.	Período de registro	N° de datos.
1	Río Liquiñe en Liquiñe	10102001-0	32	2000-2014	48
2	Río Fui en Desagüe Pirihueco	10100002-8	32	2000-2014	48
3	Río Llanquihue Ante Lago Panguipulli	10104001-1	39	2000-2014	72
4	Río Enco en Chan Chan	10110001-4	32	2000-2014	43
5	Río Huanehue ante Lago Panguipulli	10107001-8	39	2000-2014	73
6	Río San Pedro en Desagüe Lago Riñihue	10111001-k	32	2000-2014	48
7	Río Calle Calle en Balsa San Javier	10122001-k	32	2000-2014	48
8	Río Ñaqué en Mafil	10137001-1	32	2000-2014	48
9	Río Cruces en Rucaco	10134001-5	32	2000-2014	47
10	Río Valdivia en transbordador	10144001-k	32	2000-2014	47

Las estaciones utilizadas en este estudio para el análisis de la cuenca del río Bueno se detallan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Registro de la DGA en la cuenca del río Bueno.

N°	Estación	Código	N° de parámetros.	Periodo de registro	N° de datos.
1	Río Nilahue En Mallay	10306001-k	32	2000-2014	46
2	Río Calcurrepe En Desembocadura	10304001-9	32	2000-2014	44
3	Río Bueno En Puerto Lapi	10310001-1	32	2000-2014	47
4	Río Pilmaiquen En San Pablo	10328001-k	32	2000-2014	47
5	Río Llollehue Ante Río Bueno	10313002-6	32	2000-2014	46
6	Río Bueno En Trumao	10330001-0	32	200-2014	46

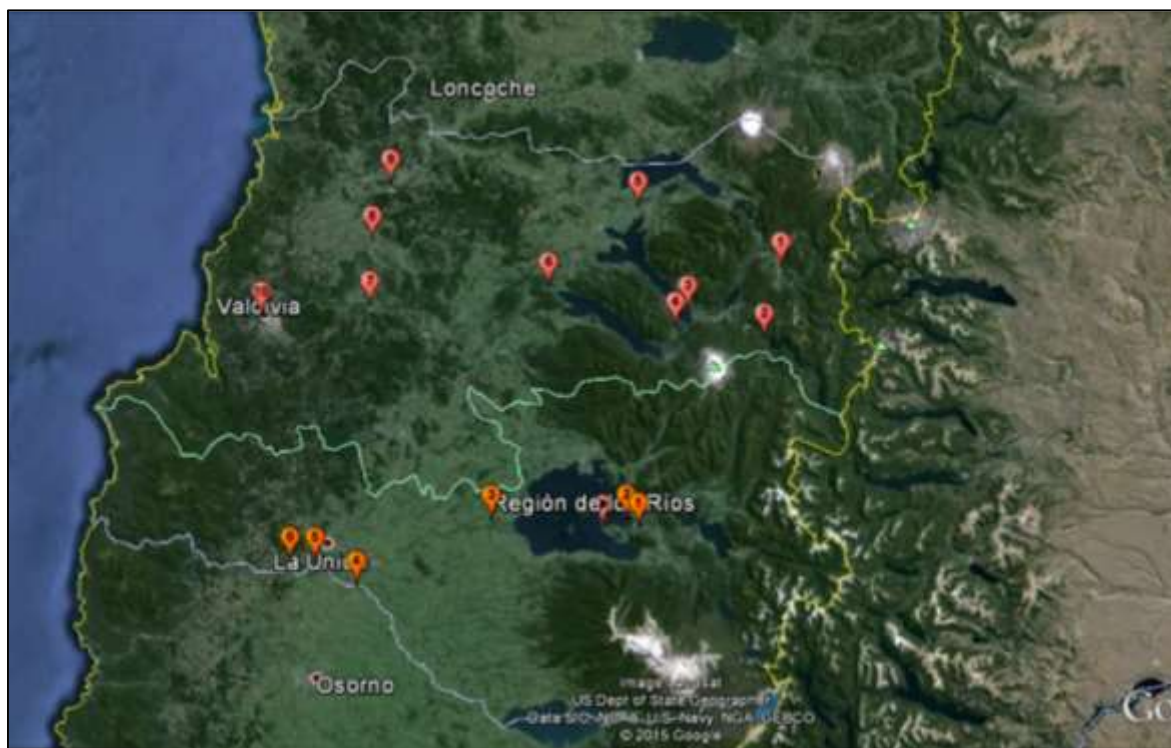


Figura 3-1: Ubicación de estaciones.

3.2 Verificación de datos.

Para la verificación de datos estos se sometieron a los siguientes métodos analíticos:

✓ **Análisis de valores atípicos:**

Cada vez que en una estación de monitoreo, un registro o valor de un parámetro aparentemente difiere notoriamente del resto de los valores registrados, se procede a someter estos puntos discordantes al test de Dixon para la detección de valores atípicos. El test de Dixon se utiliza solo para detección de los valores atípicos no para su eliminación.

✓ **Análisis de límites de detección (LD)**

Una vez analizados los puntos anteriores, se procede a revisar, en cada estación de monitoreo, aquellos parámetros cuyo valor se repite permanentemente.

✓ **Distribución T-student**

Para este estudio se utilizó el caso de T-Student para muestras pareadas, debido a que las observaciones están relacionada. Estas pueden ser observaciones tomadas al mismo tiempo o medidas tomadas en un mismo sujeto o unidad en dos oportunidades o tiempo distintos. El número de observaciones es el número de pares. (utalca s.f.). Para mayor información revisar Anexo B.

En el análisis mediante la prueba t-Student para muestras pareadas se debe considerar lo siguiente:

- **Supuestos:** La muestra de las diferencias es una muestra aleatoria de una población de diferencias. El modelo de la población de las diferencias es Normal, supuesto que no es relevante si el tamaño de la muestra n es grande.

- **Hipótesis consideradas:**

A continuación en la Tabla 3-3 se muestran las hipótesis consideradas.

Tabla 3-3: Hipótesis test T-Student para muestras pareadas

Hipótesis	Descripción
$H_0: \mu_D = 0$	No hay una diferencia significativa en la concentración del parámetro en estudio.
$H_1: \mu_D \neq 0$	Se produce una diferencia en la concentración del parámetro en estudio.

- **Nivel de significación:** Se consideró un nivel de significación de $\alpha=0,01$, siendo este el valor que se asigna para asegurar la calidad del análisis, es el rango de aceptación para las hipótesis alternativas.
- **Cálculo de probabilidad de error:** Para el cálculo de la probabilidad de error (P), se aplica la distribución t-Student por medio de la siguiente Fórmula:

-

$$t^* = \frac{X - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

X= Media.
M= Valor a analizar.
Sx= Desviación Estándar.
n= Tamaño de la muestra.

Quedando:

- Si la probabilidad de error (P) es mayor que el nivel de significancia (α) se rechaza hipótesis.
- Si la probabilidad de error (P) es menor que el nivel de significancia (α) se acepta hipótesis.

3.3 Selección de parámetros a analizar

De acuerdo a la metodología establecida por la DGA (DGA 2004), corresponde seleccionar los parámetros a analizar. Los parámetros seleccionados son en base a la norma secundaria de calidad ambiental para protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Valdivia y la norma chilena NCh 1333 Of78. Están formados por: parámetros obligatorios que son indicadores físicos y químicos. Y los parámetros principales correspondientes al grupo de compuestos inorgánicos y metales. Los parámetros obligatorios son 3 y siempre los mismos para todas las cuencas: Conductividad, Oxígeno Disuelto y pH, y los parámetros principales son propios de cada cuenca, por ser significativos desde el punto de vista de la calidad de agua.

Para la selección de parámetros principales se utilizó como referencia la caracterización de la calidad de agua según propuesta de Norma Secundaria. Las clases de calidad asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales para protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios son los siguientes:

- a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte del patrimonio fundamental de la República.
- b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua apta para protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.
- c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa y para los usos comprendidos en la clase 3.
- d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Los parámetros a analizar son aquellos que superen el límite de clase 2, de forma de asegurar que esté dentro de lo establecido en la NCh1333 Of78 además de garantizar que sea un agua de buena calidad. En la Tabla 3-4 y Tabla 3-5 se indica el rango máximo y mínimo de todos los parámetros registrados en la DGA. Todos los parámetros que tienen valores sobre el límite de clase 2, señalados con "Sí", son seleccionados como parámetros principales para el análisis de la calidad de agua en las respectivas cuencas.

Tabla 3-4: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Valdivia.

Parámetros	Unidad	Mín. Registrado	Máx. Registrado	Clase 2	Selección
Físico-Químicos					
Conductividad	mhos/cm	34,2	4845	<1500	Obligatorio
Oxígeno Disuelto	mg/L	5	14,9	5,5	Obligatorio
pH	Unidad	5,68	9,88	6,5 - 8,5	Obligatorio
Inorgánicos					
Cloruro	mg/L	0,1	229,746	<150	Sí
Sulfato	mg/L	4,1	270	<500	No
Metales Esenciales (Disueltos)					
Cobre	µg/L	5	60	<200	No
Cromo Total	µg/L	5	40	<100	No
Hierro	mg/L	<0,2	8,46	<5	Sí
Manganeso	mg/L	0,01	10	<0,2	Sí
Molibdeno	mg/L	0,1	0,1	<0,15	No
Níquel	µg/L	<10	40	<200	No
Selenio	µg/L	0,01	20	<20	No
Zinc	mg/L	<0,002	0,08	1	No
Metales No Esenciales (Disueltos)					
Aluminio	mg/L	<0,01	2,79	<0,01	Sí
Arsénico	mg/L	<0,01	<0,04	<0,1	No
Cadmio	µg/L	<0,02	<10	<10	No
Estaño	µg/L	-	-	<25	No
Mercurio	µg/L	1	10	<0,05	Sí
Plomo	mg/L	0,01	0,07	<0,2	No

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3-5: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Bueno.

Parámetros	Unidad	Mín. Registrado	Máx. Registrado	Clase 2	Selección
Físico-Químicos					
Conductividad	mhos/cm	16,9	831	<1500	Obligatorio
Oxígeno Disuelto	mg/L	<0,1	93,8	5,5	Obligatorio
pH	Unidad	5,63	9,3	6,5 - 8,5	Obligatorio
Inorgánicos					
Cloruro	mg/L	0,2	34,28	<150	No
Sulfato	mg/L	<0,1	16	<500	No
Metales Esenciales (Disueltos)					
Cobre	µg/L	5	60	<200	No
Cromo Total	µg/L	5	39	<100	No
Hierro	mg/L	<0,02	9,87	<5	Sí
Manganeso	mg/L	<0,02	1,05	<0,2	Sí
Molibdeno	mg/L	<0,02	0,14	<0,15	No
Níquel	µg/L	<10	50	<200	No
Selenio	µg/L	1	20	<20	No
Zinc	mg/L	<0,002	0,07	1	No
Metales No Esenciales (Disueltos)					
Aluminio	mg/L	<0,02	9	<0,01	Sí
Arsénico	mg/L	<0,01	0,07	<0,1	No
Cadmio	µg/L	1	10	<10	No
Estaño	µg/L	-	-	<25	No
Mercurio	µg/L	1	10	<0,05	Sí
Plomo	mg/L	0,01	0,07	<0,2	No

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.1 Definición de parámetros químicos.

A continuación se definirán los parámetros más relevantes que serán utilizados en esta tesis. Estos son: Aluminio, Cloruro, Cobre, Conductividad Eléctrica, Cromo, Hierro, Manganeseo, Mercurio, Oxígeno Disuelto y pH.

Aluminio: El aluminio es abundante y ampliamente distribuido en la corteza terrestre. Sin embargo, debido a la insolubilidad del metal, la concentración de aluminio disuelto en aguas naturales es normalmente < 1 mg/L. La atmósfera también hace contribuciones naturales de aluminio hacia el agua en forma de precipitaciones o sedimentación de partículas.

El aluminio ingresa al medio acuático tanto a través de procesos naturales como de fuentes antropogénicas. A valores de pH superiores a 5.5 el Al en agua se presenta, predominantemente, en forma no disuelta como $Al(OH)_3$ o como aluminosilicato, excepto en presencia de grandes cantidades de material orgánico disuelto, situación en que se forman compuestos organo-Al que dan lugar a un aumento de la concentración del Al disuelto en lagos y cursos de agua. En general, un descenso del pH ocasiona un aumento en la movilidad y biodisponibilidad de las formas monoméricas de aluminio. Las concentraciones de aluminio, en aguas superficiales y subterráneas, son muy variables dependiendo de factores geológicos y físico-químicos. Los silicatos de aluminio (arcillas), un importante componente de los suelos, contribuyen a los niveles de Al en aguas. En aguas naturales el Al existe tanto en forma monomérica como polimérica. La especiación del aluminio depende del pH, concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD), fluoruros, sulfatos, fosfatos y partículas en suspensión (Sancha 2005).

Cloruro: El cloruro (Cl^-). Es un anión especialmente abundante en los océanos, representa hasta un 0,05 % de la litosfera. La concentración de Cl^- en aguas superficiales no polucionadas se sitúa alrededor de 20-40 mg/l e incluso menores. En ríos, es típico su incremento a lo largo del recorrido del cauce fluvial desde su nacimiento hasta su desembocadura. En aguas naturales, los niveles base de cloruro son del orden de 1 a 100 mg/L

El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado. Las aguas con cloruros pueden ser muy corrosivas debido al pequeño tamaño del ion que puede penetrar la capa protectora en la interfase óxido-metal y reaccionar con el hierro estructural.

Conductividad Eléctrica: La conductividad de una sustancia se define como "la habilidad o poder de conducir o transmitir calor, electricidad o sonido". Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición SI y micromhos por centímetro [mmho/cm] en unidades estándar de EE.UU. La conductividad eléctrica de las aguas continentales superficiales oscilan entre 15 y 3300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Las normas europeas consideran que las aguas superficiales destinadas a ser potables no deben tener una conductividad superior a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el agua potable no debe tener una conductividad superior a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aguas de conductividad superior a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ se consideran no utilizables para el riego.

Cromo: El Cromo elemental no se encuentra en la naturaleza, su mineral más importante por abundancia es la cromita. El cromo forma tres series de compuestos con otros elementos; éstos se representan en términos de los óxidos de cromo: cromo con valencia dos, CrO, óxido de Cr(II) u óxido cromoso; con valencia tres, Cr₂O₃, óxido de Cr(III) u óxido crómico, y con valencia seis, CrO₃, anhídrido de Cr(VI) o anhídrido de ácido crómico. El cromo es capaz de formar compuestos con otros elementos en estados de oxidación (II), (III) y (VI).

El Cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón, cuando la dosis es muy baja. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos. Este puede alterar el material genético y causar cáncer. En animales el Cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores. En los ambientes acuáticos, el cromo (IV) estará presente predominantemente en una forma soluble. Las formas solubles pueden ser lo suficientemente estables como para experimentar un transporte intramedios, sin embargo el cromo (VI) eventualmente será convertido en cromo (III), a través de especies reductoras como las sustancias orgánicas, sulfuro de hidrógeno, azufre, sulfuro de hierro, amonio y nitrito (USPHS 1997, Kimbrough et al. 1999).

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 0.032 mg/l de cromo total para aguas continentales superficiales adecuadas para la preservación de comunidades acuáticas.

Hierro: Hierro es un elemento químico metálico. El hierro puro es muy reactivo y se corroe rápidamente cuando expuesto al aire. Es por esto que el hierro es poco común en arroyos y ríos. El hierro disuelto que alcanza aguas superficiales reacciona con oxígeno para formar herrumbre y precipita en el fondo del flujo de agua. Cuando aguas subterráneas con hierro disuelto es traída a

la superficie en un pozo, el hierro reacciona con el oxígeno y es convertido en visibles partículas de herrumbre rojo. También es posible que el hierro entre al agua potable si éste es disuelto en tuberías de metal.

El hierro es un nutriente esencial en la dieta humana. La inadecuada cantidad de hierro puede producir anemia, una deficiencia en los componentes que transportan el oxígeno en la sangre. Sin embargo, altas concentraciones de hierro en el agua puede causar problemas con sedimentos en tuberías, sabor metálico, y problemas estéticos por manchas rojas en accesorios y ropa. Por ésta razón, la Agencia de Protección Ambiental de EU (USEPA) ha establecido el estándar por hierro a 0.3 mg/L. Éste estándar sólo aplica en suministro de aguas públicas

Manganeso: El manganeso es un metal bastante reactivo. Aunque el metal sólido reacciona lentamente, el polvo metálico reacciona con facilidad y en algunos casos, muy vigorosamente. Cuando se calienta en presencia de aire u oxígeno, el manganeso en polvo forma un óxido rojo, Mn_3O_4 . Con agua a temperatura ambiente se forman hidrógeno e hidróxido de manganeso (II), $Mn(OH)_2$. En el caso de ácidos, y a causa de que el manganeso es un metal reactivo, se libera hidrógeno y se forma una sal de manganeso (II). El Manganeso reacciona a temperaturas elevadas con los halógenos, azufre, nitrógeno, carbono, silicio, fósforo y boro.

El Manganeso es un compuesto muy común y esencial para la supervivencia de los humanos, que puede ser encontrado en todas partes en la tierra, pero es también tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones. Existen de forma natural en el ambiente como sólidos en suelos y pequeñas partículas en el agua. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm, y entonces requiere un pH ácido. El Manganeso puede causar síntomas de toxicidad y deficiencia en plantas. Cuando el pH del suelo es bajo las deficiencias de Manganeso son más comunes.

Mercurio: El mercurio no es un elemento esencial para las plantas y nutrición de los animales. El mercurio se presenta en tres estados de oxidación, en el ambiente, el estado elemental (Hg), estado mercurioso (Hg_+) y estado mercúrico (Hg_{++}). La naturaleza de la especie y su abundancia depende de varios factores, entre estos el pH, el potencial redox, la naturaleza y concentración de los aniones que forman complejos estable con el mercurio. En aguas bien aireadas, las especies de mercurio predominarán, mientras que el mercurio elemental y complejos de sulfuro de mercurio prevalecerán bajo condiciones de reducción.

La corteza de la tierra contiene aproximadamente 0,05 $\mu g/g$ de Hg, principalmente como sulfuro. El contenido actual de mercurio, sin embargo, varía con el tipo de roca. El mercurio está

relacionado naturalmente en el ambiente por actividades volcánicas y geotermales, resistencia de las rocas y desgasificación desde el agua a la superficie de la tierra. El mercurio en el aire es re depositado en los entornos terrestre y acuático a través de precipitación, caída de nieve y sedimentación de partículas de polvo. Se asume generalmente que el mercurio puede permanecer en la atmósfera por grandes periodos.

Oxígeno Disuelto: El Oxígeno Disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua e indica el grado de contaminación que esta posee. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto (mayor a 7 mg/l) indica aguas de mejor calidad. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir.

El oxígeno disuelto proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, por lo que están muy influidos por las turbulencias del río (que aumentan el OD) o ríos sin velocidad (en los que baja el OD). Parte del oxígeno disuelto en el agua es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, por lo que ríos con muchas plantas en días de sol pueden presentar sobresaturación de OD. Otros factores como la salinidad, o la altitud (debido a que cambia la presión) también afectan los niveles de OD. Además, la cantidad de oxígeno que puede disolverse en el agua depende de la temperatura. El agua más fría puede contener más oxígeno en ella que el agua más caliente.

Los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 7 y 12 partes por millón (ppm o mg/l). Los niveles bajos de OD pueden encontrarse en áreas donde el material orgánico (vertidos de depuradoras, granjas, plantas muertas y materia animal) está en descomposición. Las bacterias requieren oxígeno para descomponer desechos orgánicos y, por lo tanto, disminuyen el oxígeno del agua (Navarra s.f.).

pH: El pH es un valor variable entre 0 y 14 que indica la acidez o la alcalinidad de una solución. Además, el mantenimiento del pH apropiado en el flujo del riego ayuda a prevenir reacciones químicas de fertilizantes. Un valor de pH elevado puede causar obstrucciones en los diferentes componentes de un sistema de fertirrigación debidas a la formación de precipitados, que un adecuado pH asegura una mejor asimilabilidad de los diferentes nutrientes, especialmente fósforo y micro nutrientes.

El pH controla las cantidades en que se disuelven muchas sustancias. El rango óptimo de PH para una variedad especial de pez depende de la temperatura, oxígeno disuelto, aclimatación previa y la presencia de varios aniones y cationes .En la mayoría de los casos un rango de PH entre 6,5 y 8,2 es apropiada.

3.4 Comparación de calidad observada con normas.

Para la comparación de los parámetros químicos a través del tiempo se graficaron los datos mediante la media móvil, que es un filtro lineal destinado a eliminar variaciones estacionales de los diversos parámetros. Para luego observar los gráficos y comparar los valores con las normativas. En el caso de la normativa secundaria de calidad ambiental los valores se comparan en percentiles y para la NCh1333 Of78 los valores se comparan en valores absolutos.

3.5 Comparación estacional.

Debido a que la toma de muestra generalmente se realiza tres veces al año por cada estación, se procedió a juntar los datos según el periodo de la toma de muestra, como se muestra en la Tabla 3-6 .

Tabla 3-6: Periodos estacionales empleados.

Periodo	Meses
1	Marzo-Abril
2	Junio-Julio
3	Octubre-Noviembre

Una vez separados los datos, se procedió a realizar la prueba estadística t-Student a cada estación, comparando los periodos 1 y 3. La prueba t-Student se aplicó para observar posibles cambios en los datos debido al efecto de la época en que fueron tomados los registros.

3.6 Análisis regional.

Para el análisis regional se procedió a ordenar las estaciones en cada cuenca de este a oeste, luego se observaron los registros más elevados y se compraron con las estaciones restantes para determinar posibles relaciones entre estaciones o cuencas.

4 RESULTADOS Y EVALUACIÓN.

Según lo comentado en la metodología se analizaron los parámetros químicos en las distintas estaciones registradas en la D.G.A. A continuación se muestra un resumen de lo encontrado en los distintos puntos de análisis.

4.1 Validación de datos.

Respecto a la validación de datos los resultados obtenidos fueron los siguientes

- Porcentaje de valores atípicos: el porcentaje de valores atípicos encontrados fueron de un 2,5% para la cuenca del río Valdivia y un 4% para la cuenca del río Bueno. Esto permite confirmar la validez de los datos contenidos en la red de monitoreo de la DGA.
- Límite de detección: En resultados, en la cuenca del río Valdivia se encontró que la información de los siguientes parámetros es equivalente al límite de detección por repetirse constantemente en los registros existentes: níquel (<50 µg/l), selenio (<1 µg/l) y cadmio (<10 µg/l). Mientras que en la cuenca del río Bueno fueron: níquel (<50 µg/l) y cadmio (<10 µg/l).

4.2 Análisis temporal.

De acuerdo al análisis realizado a los diversos parámetros a lo largo de los años en las cuencas del río Valdivia y cuenca del río Bueno, a través de los gráficos de tendencia central mostrados en el Anexo C, se derivaron las siguientes observaciones:

Con respecto a la cuenca del río Valdivia se observa que en la estación río Valdivia en Transbordador se registran los mayores niveles de conductividad eléctrica y Cloruro, esto puede deberse a la cercanía de esta estación con el mar, además se observa un leve aumento en los últimos años en los parámetros de cobre, manganeso y mercurio, y una disminución del oxígeno disuelto, mientras que en la cuenca del río Bueno se registra un aumento en los últimos años en los parámetros de manganeso y mercurio.

4.3 Cumplimiento de normativa.

Los resultados obtenidos en las cuencas del río Valdivia y río Bueno con respecto al cumplimiento de normativa se muestran a continuación en las Tabla 4-1, Tabla 4-2 y Tabla 4-3 . Para una información más detallada ver el Anexo C.

Tabla 4-1: Análisis de parámetros en la cuenca del río Valdivia según normativas.

ESTACIÓN	PARÁMETROS			
	Oxígeno Disuelto	Cond. Eléctrica	pH	Cl
Río Liquiñe en Liquiñe.	1	1	1	1
Río Fui en Desagüe Lago Piriñueico.	1	1	1	1
Río Llanquihue ante Lago Panguipulli.	1	1	1	1
Río Enco en Chan Chan.	1	1	1	1
Río Huanahue antes Lago Panguipulli.	1	1	1	1
Río San Pedro en Desagüe Riñihue.	1	1	1	1
Río Calle Calle en Balsadero San Javier.	1	1	1	1
Río Iñaqui en Mafil.	1	1	1	1
Río Cruces antes Bocatoma Celco.	1	1	1	1
Río Cruces en Rucaco.	1	1	1	1
Río Cruces en Cahuincura.	1	1	1	1
Río Valdivia en Transbordador.	1	1	1	2

1: Cumple normativas.

3: No cumple NCh 1333 para vida acuática.

2: No cumple NCh 1333 para riego

4: No cumple con norma secundaria.

Tabla 4-2: Análisis de parámetros en la cuenca del río Valdivia según normativas.

ESTACIÓN	PARÁMETROS				
	Cr	Fe	Mn	Al	Hg
Río Liquiñe en Liquiñe.	1	1	1	1	2
Río Fui en Desagüe Lago Pihueico.	1	1	1	1	2
Río Llanquihue ante Lago Panguipulli.	1	1	1	1	2
Río Enco en Chan Chan.	1	1	1	1	2
Río Huanahue antes Lago Panguipulli.	1	1	1	1	2
Río San Pedro en Desagüe Riñihue.	1	1	1	1	2
Río Calle Calle en Balsadero San Javier.	1	1	1	1	2
Río Iñaqui en Mafil.	1	1	2	1	2
Río Cruces antes Bocatoma Celco.	1	1	2	1	2
Río Cruces en Rucaco.	1	1	2	1	2
Río Cruces en Cahuincura.	1	1	1	1	2
Río Valdivia en Transbordador.	1	1	1	1	2

1: Cumple normativas.

3: No cumple NCh 1333 para vida acuática.

2: No cumple NCh 1333 para riego

4: No cumple con norma secundaria.

Tabla 4-3: Análisis de parámetros en la cuenca del río Bueno según normativas.

ESTACIÓN	PARÁMETROS						
	Oxígeno Disuelto	Cond. Eléctrica	pH	Fe	Mn	Al	Hg
Río Nilahue en Mayay	1	1	1	1	1	1	2
Río Calcarrupe en Desembocadura	1	1	1	1	1	1	2
Río Bueno en Puerto Lapi	1	1	1	1	1	1	2
Río Pilmaiquén en San Pablo	1	1	1	1	1	1	2
Río Llollelhue antes Río Bueno	1	1	1	1	1	1	2
Río Bueno en Trumao	1	1	1	1	1	1	2

1: Cumple normativas.

3: No cumple NCh 1333 para vida acuática.

2: No cumple NCh 1333 para riego

4: No cumple con norma secundaria.

4.4 Análisis estacional.

Para el análisis estacional se utilizó la prueba estadística t-Student para datos dependientes. Los meses del año que se compararon fueron marzo-abril y octubre-noviembre.

A continuación se muestran los resultados para cada cuenca, ver Tabla 4-4, Tabla 4-5 y Tabla 4-6, donde hipótesis nula corresponden a que los datos no sufrieron alteraciones según la época del año que fueron tomados y la hipótesis alternativa corresponde a que los datos sufrieron alteraciones debido en la época del año que fueron tomados. Ver el Anexo E para una información más detallada.

Tabla 4-4: Resultados prueba t-Student para los parámetros de la cuenca del río Valdivia.

ESTACIÓN	PARÁMETROS				
	Oxígeno Disuelto	Cond. Eléctrica	pH	RAS	Cl
Río Liqueñe en Liqueñe.	1	1	2	1	1
Río Fui en Desagüe Lago Piriñueico.	2	1	1	1	1
Río Llanquihue ante Lago Panguipulli.	1	1	2	1	1
Río Enco en Chan Chan.	1	1	1	1	1
Río Huanahue antes Lago Panguipulli.	1	1	1	1	2
Río San Pedro en Desagüe Riñihue.	1	1	1	1	1
Río Calle Calle en Balsadero San Javier.	1	1	1	1	1
Río Iñaqui en Mafil.	2	1	1	1	2
Río Cruces en Rucaco.	1	1	1	1	2
Río Valdivia en Transbordador.	1	1	1	1	2

1: No se rechaza hipótesis nula.

2: Se rechaza hipótesis nula.

Tabla 4-5: Resultados prueba t-Student para los parámetros de la cuenca del río Valdivia.

ESTACIÓN	PARÁMETROS				
	Cr	Fe	Mn	Al	Hg
Río Liquiñe en Liquiñe.	1	1	1	1	1
Río Fui en Desagüe Lago Piriñueico.	1	1	1	1	1
Río Llanquihue ante Lago Panguipulli.	1	1	1	1	1
Río Enco en Chan Chan.	1	1	1	1	1
Río Huanahue antes Lago Panguipulli.	1	1	1	1	1
Río San Pedro en Desagüe Riñihue.	1	1	1	1	1
Río Calle Calle en Balsadero San Javier.	1	1	1	1	1
Río Iñaqui en Mafil.	1	1	1	1	1
Río Cruces en Rucaco.	1	1	1	1	1
Río Valdivia en Transbordador.	1	1	1	1	1

1: No se rechaza hipótesis nula.

2: Se rechaza hipótesis nula.

Tabla 4-6: Resultados prueba t-Student para los parámetros de la cuenca del río Bueno.

ESTACIÓN	PARÁMETROS						
	Oxígeno Disuelto	Cond. Eléctrica	pH	Fe	Mn	Al	Hg
Río Nilahue en Mayay	1	1	1	1	1	1	1
Río Calcarrupe en Desembocadura	1	1	1	1	1	1	1
Río Bueno en Puerto Lapi	1	1	1	1	1	1	1
Río Pilmaiquén en San Pablo	1	1	1	1	1	1	1
Río Llollelhue antes Río Bueno	1	1	1	1	1	1	1
Río Bueno en Trumao	2	1	2	1	1	1	1

1: No se rechaza hipótesis nula.

2: Se rechaza hipótesis nula.

4.5 Análisis regional

En el análisis regional se observaron los gráficos de los diversos parámetros a través del tiempo, para ver si existe alguna relación entre estaciones o cuenca. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Cuenca del río Valdivia.

Para la cuenca del río Valdivia los parámetros que sufrieron aumentos significativos y que fueron registrados por más de una estación son:

- Aluminio: en junio del 2010 se registró un aumento de este parámetro en seis estaciones como se puede observar en la Figura 4-1.

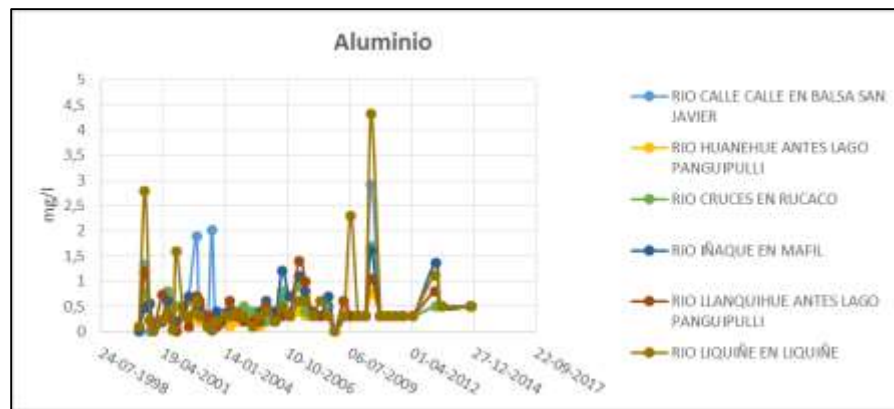


Figura 4-1: Gráfico del aluminio en la cuenca del río Valdivia.

- Conductividad Eléctrica: en Noviembre del 2005 se registró un aumento de este parámetro en ocho estaciones como se puede observar en Figura 4-2.

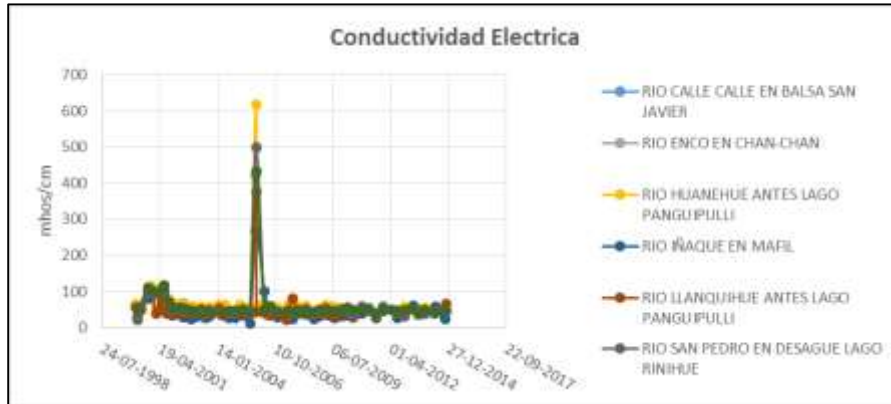


Figura 4-2: Gráfico de la conductividad eléctrica en la cuenca del río Valdivia.

- Cromo: en Noviembre del 2008 se registró un aumento de este parámetro en cuatro estaciones como se puede observar en la Figura 4-3.

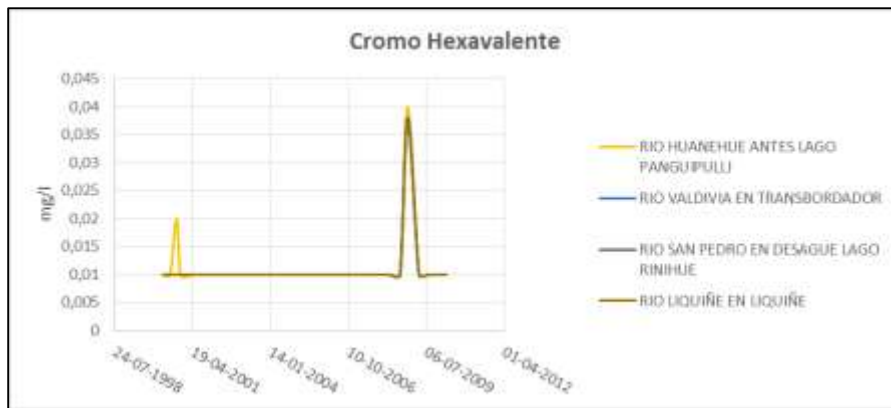


Figura 4-3: Gráfico del Cromo en la cuenca del río Valdivia.

Cuenca del río Bueno

Para la cuenca del río Valdivia los parámetros que sufrieron aumentos significativos y que fueron registrados por más de una estación son:

- Conductividad Eléctrica: en noviembre del 2005 se registró un aumento de este parámetro en cinco estaciones como se puede observar en la Figura 4-4.

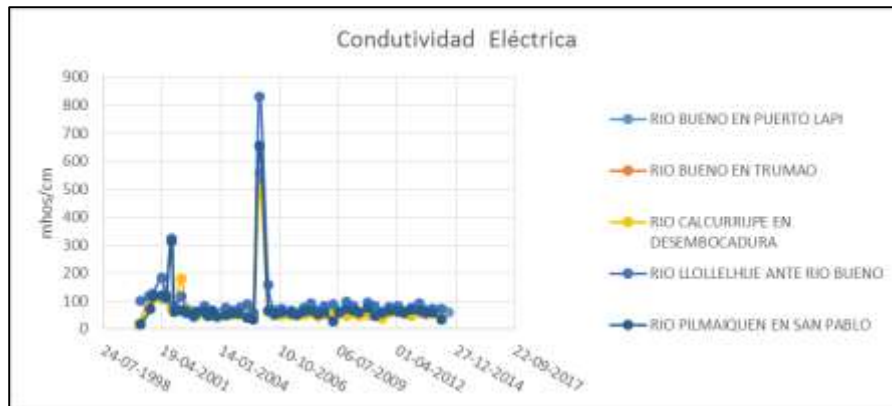


Figura 4-4: Gráfico de la conductividad eléctrica en la cuenca del río Bueno.

Observación: el mercurio registró un aumento de 0,001 mg/l a 0,002 mg/l en todas las estaciones analizadas en esta tesis.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Luego de analizar la información recopilada y obtenida en éste estudio referente a la calidad química del agua, se puede establecer las siguientes conclusiones y observaciones:

- Se encontró que la dirección General de Agua tiene suficientes estaciones de monitoreo y control de los parámetros químicos en la región de Los Ríos para evaluar de forma aproximada el comportamiento de sus ríos. Dentro de los cuales se encuentran los establecidos en la NCh 1333 Of78 y Norma Secundaria de Calidad Ambiental, que define las condiciones químicas que deben presentar este tipo de agua.
- Para el análisis temporal en la cuenca del río Valdivia se observó que el manganeso, cloruro, mercurio y el sulfato en algunos periodos superan el límite establecido por la NCh 1333 Of78, mientras que el oxígeno disuelto registró una disminución a lo largo del tiempo, manteniéndose dentro de los rangos permitidos.
- Respecto al análisis temporal realizado en el río Bueno se encontró que solo el mercurio superó en algunos periodos de tiempo los límites establecidos. Como también se observó un aumento del manganeso en el tiempo, que hasta el momento no supera el rango permitido.
- En el análisis estacional se infiere que la mayoría de los parámetros no se ve afectado por la época del año en que se toma la muestra. A excepción del oxígeno disuelto y pH que muestra un efecto estacional en varias estaciones de monitoreo
- Con respecto al análisis regional se observó que la conductividad eléctrica, en noviembre del 2005, tuvo un alza que afecto a ambas cuencas.

- Por último se recomienda un mayor monitoreo, puesto que aunque la mayoría de los parámetros aún está dentro de lo establecido por las normativas, algunos de éstos presentan una tendencia desfavorable, lo que puede provocar consecuencias al ecosistema. Como por ejemplo lo que ocurre con el mercurio, que desde el año 2012 se encuentra fuera de norma en todas las estaciones evaluadas.

6 BIBLIOGRAFÍA.

1. Dirección General de Aguas, “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea”. <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/>. Acceso el 5 de Abril de 2015.
2. Nch1333 Of78, Norma chilena Nch1333 of 78, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos, Instituto Nacional de Normalización, INN-Chile.
3. Canavos, C. (1988). Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Mc Graw Hill, Virginia Commonwealth University.
4. Ministerio de Medio Ambiente (2013). “Normas Secundarias de calidad ambiental para la protección de aguas superficiales de la región de la cuenca del río Valdivia”.
5. DGA (2004). “diagnóstico y clasificación de los Cursos y cuerpos de agua Según objetivos de calidad. Cuenca del río Valdivia”, Dirección General de aguas, Chile.
6. DGA (2004). “diagnóstico y clasificación de los Cursos y cuerpos de agua Según objetivos de calidad. Cuenca del río Bueno”, Dirección General de aguas, Chile.
7. Sancha, A. (2005). “Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego”. División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
8. Ayala, L. (2010). “Aspectos técnicos de la gestión integrada de las aguas (GIRH) – Primera etapa diagnóstico. Informe preparado para el diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos”, Santiago, Chile.
9. Gobierno Regional de Los Ríos. “Región de Los Ríos”. <http://www.goredelosrios.cl/?p=89>. Acceso el 19 de Mayo del 2015.
10. Ministerio del Medio Ambiente. “Recursos Hídricos”. http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_8.pdf. Acceso el 2 de Junio del 2015.
11. Universidad de Lérida. “¿Cómo se utiliza la tabla de t de Student?”. [http://web.udl.es/Biomath/Bioestadistica/Dossiers/Temas%20especiales/Estimacion/Como%20se%20utiliza%20la%20tabla%20t%20de%20Student%20\(formulas\).pdf](http://web.udl.es/Biomath/Bioestadistica/Dossiers/Temas%20especiales/Estimacion/Como%20se%20utiliza%20la%20tabla%20t%20de%20Student%20(formulas).pdf). Acceso el 5 de Julio del 2015.
12. García, L (2013). “Distribución t de Student”. Universidad Federico Villarreal, Facultad de Educación Matemática- Física.

13. M. Peredo-Parada, F. Martínez-Capel, V. Garófano-Gomez, M. Atenas, F. Riestra (2009). “Base de datos eco-hidrológica de los ríos de Chile: una herramienta de gestión para los ecosistemas acuáticos”. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile, Chile.
14. Suarez R. “Prueba de hipótesis”, Febrero del 2009. <http://www.monografias.com/trabajos75/prueba-hipotesis/prueba-hipotesis2.shtml>. Acceso 24 de Junio del 2015.
15. Gómez, R. (1996). “Análisis uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile”, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.
16. Sistema Nacional de Información Ambiental (2010). “Región de Los Ríos”. <http://www.sinia.cl/1292/w3-propertyvalue-14507.html>. Acceso el 20 de Mayo del 2015.
17. Ayala, Cabrera y asociación Ltda. (2003). “Diagnostico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección”. Comisión Nacional de Riego, Gobierno de Chile, Chile.
18. Igel W. (2012). “Estudio cuencas principales región de Los Ríos”. Dirección General de Aguas, Gobierno de Chile, Chile.
19. Díaz, P y Fernández, P. (2001). “Métodos paramétricos para la comparación de dos medias.t de Student”. [https://www.fisterra.com/mbe/investiga/t_student/t_student.asp#Figura 2.](https://www.fisterra.com/mbe/investiga/t_student/t_student.asp#Figura%20) Acceso 24 de Junio del 2015.